سلسلة : البيـــــئة و التـــلوث
العدد (٥)

التربة و معالجة المخلفات

دكتور
السيد أحمد الخطيب
Ph. D. University of W. Virginia (USA)
أستاذ علوم الأراضى و المياة – كلية الزراعة – جامعة الإسكندرية
و الحائز على
جائزة الدولة التشجيعية فى العلوم الزراعية عام ١٩٩٣
و نوط الإمتياز من الطبقة الأولى

٢٠٠٤

المكتبة المصرية
للطباعة والنشر والتوزيع
٣ ش احمد ذو الفقار - لوران الاسكندريه
تليفاكس ٠٠٢٠٣٥٨٤٠٢٩٨
محمول ١٢٤٦٨٦ ٤٩

بسم الله الرحمن الرحيم

" ظهر الفساد فى البر والبحر بما كسبت أيدى الناس ليذيقهم بعض الذى عملوا لعلهم يرجعون ".

الروم (٤١)

صدق الله العظيم

مقدمة

التلوث البيئي يمثل أحد المشكلات الهامة التي تواجه البشرية في عصرنا الحاضر نتيجة للنشاط الإنساني المتزايد في كافه مجالات الحياة . ولأن التلوث البيئي له أبعاد خطيرة على صحة الإنسان فإن قضيه التلوث أصبحت تمثل أولوية من أولويات العصر وستظل من أهم الموضوعات التي تشغل فكر العالم في القرن الواحد والعشرون .

ولكي نستعرض معا سلم تصاعد المشاكل البيئية والتلوث فأننا محتاجون بداية إلى توضيح الإطار الذي تنشا فيه هذه المشاكل على مختلف المستويات البيئية وبتعبير أدق على المحيط الحيوي مائة وهواؤه وأرضه . ولقد عرف العالم الروسى فرنادسكى vernadsky المحيط الحيوي بأنه ذلك الحيز على كوكب الأرض الذي توجد فيه الحياة بمختلف أنواعها بصورة طبيعية ويشمل الطبقات السفلي من الغلاف الجوى وسطح الأرض من أعلى إلى أسفل وما يشتمله من جبال وسهول ووديان وتحت سطح الأرض والمحيط المائي بأنهاره وبحيراته وبحارة ومحيطاته فالمحيط الحيوي إذن هو مصدر كل المدخلات التي نحتاج إليها والمصب التي تنتهي إليها كل المخرجات الناجمة عن العمل على تدبير احتياجاتنا . ويحتوى المحيط الحيوي على وحدات كل وحدة تمثل نظام بيئى يحتوى على الكائنات الحيه وعناصر غير حيه والطاقة . يجمع بين هذه العناصر جميعا عمليات بيئية وحيوية تنظم العلاقات فيها وتستوفى الترابط بينها في إطار التوازن الذي يحفظ للنظام البيئي صحته . ويمكن للنظام البيئي

أن يستوعب كميات معينة من المخلفات دون أن يتدهور حالة لذلك عليه عند تجاوز قدرة النظام البيئي على هضم المخلفات التي نقذف بها فيه حتى لا يتلوث تلوثا يضر بالإنسان والحيوان على حد سواء.

نص ميثاق اليونسكو الذي صنع في أعقاب الحرب العالمية الثانية بأن "الحرب تبدأ في عقول الناس" وبالتبعية وبالقدر نفسة فإن الحرص على سلامة البيئة والوعى بمقتضيات هذه السلامة يبدآن في عقول الناس . لذلك فإن رفع المستوى التعليمي والثقافي وتنمية الوعي البيئي للأفراد هي مسئوليه جماعية يتطلب الاقتناع التام بمسئولية الأفراد تجاه البيئة وحرصهم على سلامتها وصحتها .

وواقع مشكلة التلوث البيئي – كما نراها – يتمثل في أن قسما كبيراً من سكان الدول النامية لا يزال بعيداً كل البعد عن قضايا البيئة وللأسف الشديد فإن هذا القسم يشمل الأفراد الذين يسيئون إلى البيئة في جزيئات حياتهم اليومية وكذلك المسئولون اللامبالين بمراعاة الاعتبارات البيئية في أعمال الأجهزة والمؤسسات التي يرعونها .

من أجل ذلك أيها القارئ الكريم فلقد قام الكاتب بإصدار سلسلة "البيئة والتلوث" بهدف تنمية الوعي البيئي لدى الأفراد في مجتمعنا واجتذاب القراء للتعاطف والاهتمام بقضايا البيئة والمشاركة في الحفاظ عليها وأيضاً سحب الأفراد من مساحة اللامبالين بالبيئة إلى جيش الداعين إلى صوبها .

ويتناول الكتاب الخامس فى هذه السلسلة المعلومات الهامة عن التربة كوسط لمعالجة المخلفات ويشتمل على فصلين يتناول الفصل الأول منها إضافة المخلفات العضوية إلى التربة والمشاكل التى تنجم عن ذلك كما يتناول الفصل

الثانى نظم إضافة مياه الصرف الصحى إلى التربة وخواص التربة الواجب فحصها عند إضافة مخلفات الصرف الصحى وميكانيكية المعالجة ومقدرة التربة على إستيعاب الملوثات والعامل المحدد فى نظم إضافة المخلفات إلى التربة .

أسال الله أن يتحقق الهدف المنشود من تأليف هذا الكتاب وأن يجد منه القراء على اختلاف اهتماماتهم العون والفائدة .

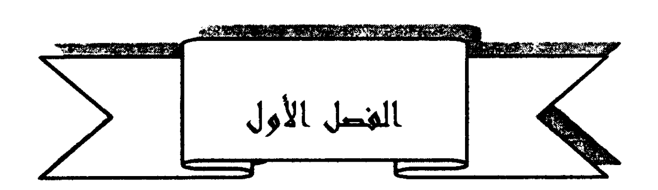
والله ولى التوفيق ،،،

أ.د السيد أحمد الخطيب

الإسكندرية ٢٠٠٤

المحتويات

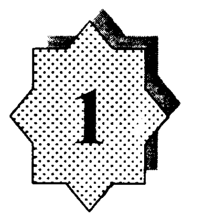
الموضوع	الصفحة
* ميكانيكيات المعالجه ومقدرة التربه على استيعاب الملوثات	٨٤
▪ الميكانيكية الفيزيائيه	٨٥
▪ الميكانيكية الكيميائيه	٩٣
▪ الميكانيكية البيولوجيه	١٠١
* العامل المحدد فى نظم إضافة المخلفات إلى التربه	١٠٢
* حساب معدل إضافة الحمأة للأراضى الزراعية	١٠٤
❖ المراجــــع	١١٠



إضافة المخلفات العضويه إلى التربه

Behavior of Organic Wastes in Soils

- إضافة المخلفات العضويه إلى التربه
- مشاكل إضافة المخلفات العضويه إلى التربه
  - تلـــوث المجارى المائيه و البحيرات
  - زيادة تركيز العناصر السمه فى التربه
  - الملوثات الحيويه
  - الأملاح الذائبه
- التركيب الكيميائى للمخلفات العضويه
- ادارة المخلفات العضويه



إضافة المخلفات العضويه إلى التربه

تستقبل التربه أنواع عديدة من المخلفات العضوية يمثـل بعضـها تـهديدا لصحة الإنسان والحيوان . والأهتمام بالمواد العضويه فى بيئه التربه يتركز فى النقاط التالية :

١. إستخدام الأراضى كمكان للتخلص من المخلفات العضوية ونواتجها .

٢. إحتمالات تخليق مركبات مسببه للسرطان من خلال الكائنات الحية الدقيقة فى التربه .

٣. مصير المركبات الكيميائية العضوية المختلفة والتى يتـم إضافتـها إلـى التربه للسيطرة والحد من الحشائش والحشرات .

٤. تلوث التربه بالمواد الصناعية العضويه السامه والخطره نتيجة الحوادث .

٥. مساهمة كربون التربه فى CO_2 الجو .

وفى هذا الفصل سوف يتم التركيز بصورة أساسية على مشكلة التخلص من الملوثات العضوية عن طريق إضافتها للتربه .

إضافة المخلفات العضويه إلى التربه

المشكلة الأساسية هى وجود كميات كبيرة جدا من المخلفات العضويه الناتجة سنويا من مياه الصرف الصحى ومزارع الحيوانات والدواجن والقمامة – مصانع الورق – الصناعات الغذائية والصناعات الأخرى . وفى الماضى كان يتم التخلص من المخلفات غير المرغوب فيها بإلقائها فى مجارى المياه والبحيرات والبحار أما الآن فهذه الطريقة لم تعد مقبولة .

ومشاكل التخلص من مخلفات الصرف الصحى والقمامة لا تعتبر مشكلة تخص المدن فقط وإنما تشمل القرى أيضا لأن مخلفات المزارع يتم التخلص منها ايضا فعلى سبيل المثال حيوان المزرعة ينتج مخلفات عضويه تعادل عشرة أضعاف ما ينتجه الإنسان . فالبقرة ينتج عنها مخلفات تعادل 16 ضعف ما ينتج عن الإنسان فى حين أن 7 دجاجات ينتج عنها مخلفات تعادل تقريبا ما ينتجه الإنسان .

تقدر الكمية الكلية من المخلفات العضويه الناتجة على سبيل المثال فى الولايات المتحده الأمريكية من مزارع الإنتاج الحيوانى والداجنى حوالى 1.5 بليون طن كل سنة . فى حين أن كمية الحمأة الناتجة من الصرف تقدر بحوالى 7.5 مليون طن سنويا والمواد العضويه المتخلفة من الصناعات الغذائية تعتبر كميات هائلة وللدلالة على ذلك نذكر أن مخلفات صناعة نوع واحد من الجبن يعادل مخلفات 83 مليون نسمه .

ويوضح جدول (1-1) كميات المخلفات الصلبة الناتجة من مزارع الإنتاج الحيوانى والداجنى فى الولايات المتحدة الأمريكية .

جدول (1-1) : كميات المخلفات الصلبه الناتجة من مزارع الأنتاج الحيوانى والداجنى فى الولايات المتحده الأمريكيه

نوع الحيوان	كمية السماد الناتجة طن/سنة
الأبقار	1, 088, 620, 000
الخنازير	47, 414, 000
الأغنام	21, 456, 000
الدواجن	30, 421, 000

ونظر لعظم كمية المخلفات العضويه فإن استخدام المخلفات العضويه فى الزراعة يقدم ميزات كبيرة للمجتمع ككل من ضمنها زيادة خصوبة التربه وتحسين صفات المياه عن طريق الحد من إلقاء المخلفات العضويه فى الأنهار والبحيرات ومجارى المياه .

مشاكل إضافة المخلفات العضويه إلى التربه

إضافة المخلفات العضويه مثل بقايا المحاصيل والأسمدة العضويه والمصنعة Composts إلى التربه هى ممارسه كان يتم إستخدامها فى الماضى وتستخدم فى الحاضر بطريقة مكثفة للحفاظ على خصوبة التربه . فإضافة الأسمدة العضويه لها تأثير جيد على إنتاجية التربه لأنها تعتبر مصدر للعناصر الغذائية التى يحتاجها النبات لنموه . ايضا تعمل الأسمدة العضويه على تحسين الخواص الفيزيائيه للتربه كما أنها تعمل على الحفاظ على مادة التربه العضويه وتزيد من نشاط الكائنات الحيه الدقيقة فى التربه .

وقيمة إضافة المخلفات العضويه الحيوانيه للتربه فى الماضى تم توضيحها فى الفقرة التالية من الكتاب السنوى لوزارة الزراعة الأمريكية عام 1938.

"المخلفات الحيوانيه للمزارع الأمريكيه والتى تقدر ببليون طن سنويا قادرة على زيادة المحاصيل بما يعادل ثلاثة آلاف مليون دولار . وتعادل كمية العناصر الغذائية التى حصلت عليها المحاصيل نتيجة إضافة المخلفات العضويه ستة أضعاف ما أمدته الأسمدة المعدنية إلى المحاصيل فى عام 1938 كما أن المادة العضويه المضافه إلى التربه تعادل ضعف ما أستهلك من الدبال بواسطة محصولى القمح والذره" .

ونتيجة لإعتبارات تكنولوجيه واقتصادية تغير هذا المفهوم حديثا بالنسبة لقيمة الأسمدة العضويه الحيوانيه للأسباب التالية :

١. تقدم تكنولوجيا تصنيع الأسمدة النيتروجينيه وتحويل النيتروجين الجوى N_2 إلى NH_4 , NO_3 أدى إلى انتاج كميات كبيرة من الأسمدة النيتروجينيه بأسعار معقولة . بالإضافة إلى أن ارتفاع اسعار تداول ونقل الأسمدة العضويه وإنخفاض نسب العناصر الغذائية بها أدى إلى العزوف عن استخدام الأسمدة العضوية والاتجاه إلى الأسمدة الكيميائيه .

٢. تخصص المزارع وتركز مزارع الإنتاج الحيوانى والداجنى فى مناطق محدده بما يعنى التخلص من كميات هائله من مخلفات الحيوانات فى مساحة صغيرة .

ويمكن تلخيص الأسباب التى تحد من استخدام الأسمدة العضويه والحمأه فى الزراعة فيما يلى :

١. الأسمدة الحيوانيه والحماه يعتبران أسمدة مختلفة التركيب وتحتويان على نسب قليلة من العناصر الصالحة للأمتصاص بواسطة النبات ولذلك يجب استخدامهم بمعدلات عالية جدا بالمقارنة بالأسمدة الكيميائية وهذا بالضرورة يستلزم نفقات نقل باهظة خاصة إلى الأراضى القريبة من المدن الكبرى .

٢. تركيز العناصر الغذائية فى الأسمدة العضويه والحمأة تختلف حسب مصدرها وبالتالى فإن معدلات الإضافة المثلى لكل سماد من الصعب التنبؤ به .

٣. يحتوى كلا من الأسمدة العضويه الحيوانية والحمأة على أملاح ذائبة يمكن أن تسبب مشاكل عند استخدامها كأسمدة خاصة فى الأراضى التى يستخدم فيها الرى فى المناطق الجافة . وفى العديد من الأراضى فإن الغسيل وما يتبعه من تلوث المياه الجوفيه بالعناصر الكبرى وخاصة النترات يعتبر عاملا محددا لإستخدام هذه المخلفات .

٤. تحتوى الحماه على عناصر ثقيلة تدمص على سطح حبيبات التربه وتتجمع إلى مستويات قد تكون سامه للنبات وبالتالى تضع قيود على نوع المحصول الممكن زراعته نتيجة الخوف من تجمع هذه العناصر فى النبات إلى درجة تصبح معها هذه النباتات سامه للحيوانات وللإنسان وبالتالى تقلل من قيمة المحصول الناتج .

٥. تحتوى الحمأة على بكتريا وفيروسات وطفيليات ممرضه تمثل خطرا صحيا على عمال المزرعة والمستهلكين لانتقالها خلال السلسلة الغذائية وتتوقف درجة الخطورة على طريقة معالجة الحمأة .

٦. طرق إضافة الأسمدة العضويه والحمأة غالبا ذات كفاءة منخفضة ومضيعه للوقت . فعند إضافة الحمأة السائلة إلى سطح التربه لابد وأن تترك فترة زمنية معينة وهذا الوقت المفقود قد ينتج عنه تأخير أعداد التربه للزراعة . أيضا إنتاج الحمأة والمخلفات العضويه هى عملية مستمرة لا تتوقف فى حين أن الأحتياج للأسمدة هو إحتياج موسمى .

٧. الروائح الكريهة المصاحبه للأسمدة العضويه والحمأة يجعل من الصعب على المستهلك أن يقتنع بأن إضافة هذه المخلفات لا تمثل أضرار صحية عليه اذا ماتم إضافتها بالطريقة والمعدلات الصحيحة .

٨. والعقبة التى تقف أمام إستخدام الحمأة فى الإنتاج الزراعى هى أن هيئات حماية البيئه فى كثير من دول العالم تشترط مراقبة وفحص خواص صفات المحصول الناتج وكثير من المزارعين لا يرغبون فى دفع تكاليف المراقبة والفحص .

إقتراحات بشأن تشجيع إستخدام الحمأة والمخلفات الحيوانيه فى الزراعة :

١. تحسين خواص وصفات المنتجات الزراعية المنتجة تحت نظام استخدام الحمأة والمخلفات الحيوانيه لتنافس خواص وصفات المنتجات الزراعية الناتجة تحت نظام الأسمدة الكيميائية وهذا يستلزم نظام مراقبة جيد للأغذية الزراعية .

٢. خفض تركيز العناصر الصغرى والأملاح فى المنتجات الزراعية المنتجة تحت نظام استخدام الحمأة ومياه الصرف الصحى ويمكن أن يتم ذلك عن طريق تحسين نظم جمع ومعاملة مياه الصرف الصحى

ومراقبة محتواها من العناصر الصغرى خاصة عند المنبع وقبل أن تصل مياه الصرف الصناعى إلى نظام الصرف الصحى .

٣. تطوير نظم إدارة جديدة تؤدى إلى عدم تأخير تجهيز الأرض فى المزارع التى تستخدم مياه الصرف الصحى والحمأة من شأنه أن يعمل على اقبال المزارعين على استخدامه .

٤. وضع معدلات إضافة آمنه لاستخدام مياه الصرف الصحى والحمأة والمخلفات العضويه سوف يشجع على استخدامها . ويجب أن تكون معدلات الإضافة المقترحة مبنيه على حقائق وتؤكد الاستخدام الآمن الحمأة بدلا من أن تكون مبنيه فقط على القلق والخوف من تأثير استخدام المخلفات الضار على البيئه . فحاليا توجد العديد من الأسئلة التى تتعلق بإضافة مخلفات الحيوانات بمعدلات عالية مثل تأثيرها على صفات وكميات المحصول وتلوث المياه السطحية والجوفيه ولا يوجد لها إجابة شافية ومؤكدة حتى الآن .

ومخاطر إضافة المخلفات العضويه إلى التربه نوردها فيما يلى :

(أ) تلوث المجارى المائيه والبحيرات بالمواد العضويه

المشكلة البيئيه بالنسبة للمخلفات العضويه عند وصولها للمجارى المائيه سواء بطريق مباشر أو غير مباشر بواسطة الجريان السطحى والغسيل هى تغير صفات وخواص المياه شاملة زيادة تركيز العناصر الغذائية بها والروائح الكريهة وتلوثها بالطفيليات .

ويتم تقويم المخلفات العضويه من ناحية مقدرتها على التلوث عن طريق

تقدير الأكسجين الحيوى المستهلك BOD ، الأكسجين الكيميائى المستهلك . COD

الأكسجين الحيوى المستهلك Biological Oxygen Demand (BOD)

وهو كمية الأكسجين المستهلكة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة خلال عملية أكسدة المادة العضويه فى فترة خمسة أيام ويعتبر مقياس للمواد القابلة للأكسدة. أما الأكسجين الكيميائى المستهلك Chemical Oxygen Demand (COD) فهو عبارة عن قياس المواد العضويه الكلية المؤكسدة ويقدر عن طريق أكسدة المواد العضويه باستخدام حمض الكبرتيك وداى كرومات البوتاسيوم وهذا المقياس يستخدم بصورة أقل من BOD .

ينتج عن أكسدة المادة العضويه انخفاض الأكسجين الذائب فى الماء بزيادة تحلل المادة العضويه فإذا كانت المخلفات العضويه التى يتم التخلص منها فى الماء لها قيمة BOD عالية فسوف ينتج عن ذلك انخفاض محتوى الماء من الأكسجين لدرجة لا تكفى احتياجات الأسماك والكائنات الحية الأخرى وبالتالى يؤدى ذلك إلى موتها (يحتاج السمك إلى حوالى 5 جزء فى المليون من الأكسجين فى الماء لكى يعيش) .

اذا كانت قيمة BOD للماء تساوى 1 جزء فى المليون (1 جزء فى المليون يستهلك خلال فترة خمسة أيام) فإن الماء يعتبر ذات صفات جيدة أما اذا كانت قيمة BOD للماء 5 جزء فى المليون أو أكثر فهذا يعنى أنه ماء غير نقى (ملوث) .

وتعتبر المخلفات الحيوانيه ذات قيمة BOD عالية نسبيا بينما الحمأة المعامله لها قيمة BOD منخفضة نسبيا فقد تصل قيمة BOD لمخلفات

الحيوانات فى ماء الجريان السطحى إلى 10,000 وهذا يتوقف بالطبع على مدى التخفيف وتحلل المواد العضويه فى الماء . أيضا مخلفات الصناعات الغذائيــة لها قيمة BOD عالية ويرجع إنخفاض قيمة BOD للحمأة المعالجة إلى حــدوث أكسدة للمواد العضويه خلال فترة المعالجة .

(ب) زيادة تركيز العناصر الثقيلة السامه فى التربه

يمكن أن تؤدى الإضافات المتتالية من المخلفات العضويه وخاصة الحمــأة إلى التربه ولفترة طويلة إلى تجمع العناصر الثقيلة فى التربه وزيادة تركيزهــا إلى مستويات قد تكون سامه للنبات وبالتالى للحيوان والانســان . والعنــاصر الثقيلة السامه تشمل النحاس والكادميوم والنيكل والزنك ويعتبر الكادميوم علــى وجه الخصوص سام للإنسان والحيوان ولذلك يجب الحرص على تجنب دخوله إلى السلسلة الغذائية إلا فى الحدود الآمنه . وكثير من العناصر فى الحمأة تكون مرتبطة بالمادة العضوية ويحدث لها تحرر عنــد تحللــها وتصبــح صالحــة للأمتصاص بواسطة النبات .

وتختلف محتويات الحمأة من العناصر الثقيلة تبعا لمصدرها فهى تختلف فى المدن عنها فى القرى كما أنها تختلف من مدينة لأخرى وهذا يتوقــف علــى الصناعات الموجودة فى المدينة والتى تصب مياهها مع مياه الصرف الصحــى ويوضح الجدول رقم (1-2) مدى متوسط تركيز بعض العناصر فى الحمأة مــن مواقع عدة .

جدول (1-2) : مدى متوسط تركيز العناصر الثقيلة فى الحمأة

العنصر		عدد المواقع	المدى (ug/g)	المتوسط (ug/g)
الزرنيخ	As	10	6 – 230	43
باريوم	Ba	60	21 – 8,980	576
كادميوم	Cd	115	4 – 846	101
كروم	Cr	119	17 – 99,000	3,280
زئبق	Hg	53	1 – 10,600	1,077
نيكل	Ni	109	10 – 3,515	440
رصاص	Pb	116	13 – 19,730	1,656

ويوضح الجدول (1-3) مدى تركيز أربع عناصر فى الحمأة الناتجة من المدن الصناعية والمدن غير الصناعية .

جدول (1-3) : تأثير مصدر الحمأة على مدى تركيز بعض العناصر الصغرى بها

العنصر		حمأة المدن الصناعية وغير الصناعية (ug/g)	حمأة المدن غير الصناعية (ug/g)
الكادميوم	(Cd)	5 – 2,000	5 – 10
نحاس	(Cu)	250 – 17,000	250 – 1,000
نيكل	(Ni)	25 – 8,000	25 – 200
زنك	(Zn)	500 – 50,000	500 – 2,000

إضافة الحمأة المعالجة ثانويا (Digested) إلى التربه بمعدل 20 طن للـهكتار لمدة 20 عاما يمكن أن يؤدى إلى رفع تركيز العناصر الصغرى بها تقريبا إلى الآتى (عمق الحرث) :

CO	18 ug/g
Cu	180 ug/g
Cr	540 ug/g
Mn	90 ug/g
Pb	270 ug/g
Zn	890 ug/g

وتعتبر محاصيل الخضر أقل المحاصيل مقاومة لزيادة تركيز العناصر الثقيلة فى التربه بينما تكون محاصيل الأعلاف أكثرها مقاومة وتعتبر المحاصيل الحقلية مقاومة نسبيا وإن كانت درجة المقاومة تختلف من محصول لأخر ولذلك فإن استخدام الحمأة فى الزراعة لمدى طويل سوف يضع قيود على نوع المحصول الواجب زراعته .

يوجد احتمال قوى أن تؤثر مكونات الحمأة العضويه الذائبة فى الماء أو التى تكونت خلال تحللها على حركة العناصر الثقيلة خلال التربه وتؤدى إلى وصولها إلى المياه الجوفيه على صورة معقدات مخلبيه .

(ج) الملوثات الحيويه Biological Pollutant

تعتبر الطفيليات من الملوثات الحيويه التى تصيب الإنسان والحيوان والحقيقة أن الطفيليات تموت عندما يتم أكسدة الحمأة بيولوجيا (المعاملة الثانوية) أو عندما تخزن مخلفات الحيوانات فى أحواض Lagoon ولذلك فالحمأة المعالجة ومخلفات الحيوانات المخزنه لا تمثل أخطار صحية من ناحية الطفيليات عند إضافتها للتربه . وتعتبر البكتريا مثل Echerichia Coli من الملوثات الحيويه وأن كانت تتواجد طبيعيا فى أمعاء الفقاريات ولذلك فالنوعين Streptococci, Escherichia تستخدمان للدلاله على حدوث التلوث وللتعرف على أى كائنات حية دقيقة ممرضه يحتمل تواجدها . ويوضح الجدول (1-4) متوسط محتوى مخلفات بعض حيوانات المزرعة من نوعين من البكتريا .

جدول (4-1) : متوسط محتوى مخلفات بعض حيوانات المزرعه من البكتريا نوعى Streptococci, Coliform

نوع الحيوان	Coliform	Strepococci
	مليون/جم	
البقر	0.23	1.3
الغنم	3.3	84.0
الخنازير	16.0	38.0
الدجاج	1.3	3.4
الديك الرومى	0.3	2.8

ولقد تم التعرف على أكثر من 70 نوع من الفيروسات فـــى الحمـــأة غـــير المعالجة والتى غالبا ما توجد فى براز الإنسان وكان من المعتقد قديما أن أعداد الفيروس الذى يسببه يمكن نقل المرض لابد أن يكون حوالى المليون ولكن ثبت حاليا أن فيروس واحد كافى لنقل المرض . ايضا يوجـــد فـــى الحمـــأة غـــير المعالجة العديد من أنواع البكتريا الممرضه ولكن بتركيزات منخفضة ولذلـــك فيستخدم البكتريا من نوع Coli للتعرف على مدى تلـــوث الوســط بالبكتريـــا الممرضه ويوضح الجدول التالى أعداد البكتريا Coli والفيروســـات المحتمـــل تواجدهم فى الحمأه غير المعالجة .

	المـــدى
a. (CMPN/100ml) الكليهColiform	$1 \times 10^6 - 100 \times 10^6$
b. (PFU/l) فيروس	200 - 7000

مقياس تركيز الفيروس

i. MPN = Most Probable Number
ii. PFU = Plaque – forming unit

كما يوجد فى الحمأة غير المعالجة البروتززراو الديدان الممرضه ويعتـــبر البيض الخاص بهما مشكله لصعوبة التخلص منهم .

(د) زيادة تركيز العناصر الغذائية فى المياه السطحية والجوفيه

إضافة معدلات عالية من الحمأة ومخلفات الحيوانات إلى التربه يمكـــن أن يؤدى إلى زيادة تركيز العناصر الغذائية فى المياه السطحية والجوفيه . يوضـــح الجدول (1-5) محتوى السماد الحيوانى من العناصر الغذائية .

جدول (1-5) : محتوى السماد الحيوانى من العناصر الغذائية

العنصـــر	مدى التركيز %	متوسط التركيز %	الكمية فى ١٥ طن kg
نيتروجين (N)	1.16 – 0.96	1.34	134
فوسفور (P)	0.32 – 0.85	0.53	53
بوتاسيوم (K)	0.75 – 2.35	1.50	150
صوديوم (Na)	0.29 – 1.43	0.74	74
كالسيوم (Ca)	0.81 – 1.75	1.30	130
مغنيسيوم (Mg)	0.32 – 0.66	0.50	50
حديد (Fe)	0.09 - 0.55	0.21	21
زنك (Zn)	0.005 – 0.012	0.009	0.9

ويتضح من الجدول السابق أن إضافة 40 طن من السماد الحيوانى ســـنويا إلى التربه يعنى إضافة 540 كجم نيتروجين لنهكتار وهذا المقدار يمتص النبات جزء فقط منه . أما الجزء المتبقى فيعرض للغسيل من التربه وينتقل إلى المـــاء الأرضى ومنه إلى الآبار أو الأنهار والبحـــيرات . ويوضـــح الجـــدول (1-6) محتوى الحمأة المعالجة ثانويا من العناصر الغذائية .

جدول (6-1) : محتوى الحمأة المعالجة ثانويا (لا هوائيا)

العنصـــــر	مدى التركيز	متوسط التركيز	
	%	%	كجم/طن
N عضوى	2 - 5	3	27
$NH_4 - N$	1 - 3	2	18
N الكلى	1 – 6	5	45
فوسفور (P)	6 – 8	3	27
بوتاسيوم (K)	0.1 – 0.7	0.4	4
كالسيوم (Ca)	1 – 8	3	27
مغينسيوم (Mg)	2 – 5	1	9
كبريت (S)	0.3 – 1.5	0.9	8
حديد (Fe)	0.1 – 0.5	4	36
	ug/g	ug/g	
صوديوم (Na)	800 – 4,000	2,000	2
زنك (Zn)	50 – 50,000	5,000	5
نحاس (Cu)	200 – 17,000	1,000	1
منجنيز (Mn)	100 – 800	,500	0.5
بورون (B)	15 – 1,000	'100	0.1

ويتضح من الجدول (6-1) إن إضافة 5 cm من الحمأة المعالجة لا هوائيـــا (10% مادة صلبة) إلى الهكتار سوف يضيف الكميات التاليـــة مـــن العنـــاصر الغذائية :

252 – 280 kg/ha	$NH_4 - N$	وهذه الكمية يحدث لها نترته سريعة
336 kg /ha	N عضوى	
200 – 336 kg/ha	فوسفور	
45 – 90 kg /ha	بوتاسيوم	

والنترات الزائدة فى التربه بعد موسم النمو يحدث لها غسيل وتتحرك إلـى المياه السطحية والجوفيه والجدير بالذكر أن زيادة تركيز NO_3 فى المياه ينتـج من عدة مصادر شاملة إضافـة الحمـأة أو المخلفـات الحيوانيـة ومخلفـات الصناعات الغذائية ، Landfills والمخلفات الصناعية وغيرهـا . وكـل مـن المصادر السابقة تتسبب فى تلوث المياه بنسب مختلفة تبعا لظروف كل موقع . علما بأن تلوث المجارى المائيه بالنيتروجين يحدث بدرجة كبيرة عنـد إلقـاء المخلفات العضويه والحمأة فى المجارى المائيه ويزداد التلوث بشـدة بزيـادة المعدلات التى يتم التخلص منها .

(هـ) الأملاح الذائبه Soluble Salts

تحتوى مخلفات الحيوانات والحمأة على أملاح غير عضويه مثل البوتاسيوم والصوديوم والكاليسوم والمغنيسيوم ولذلك فإضافة معدلات عاليـة مـن هـذه المخلفات إلى التربه يؤدى إلى زيادة نسبة الأملاح بها إلى درجة يمكن أن تؤثر على المحصول . واحتمالات ارتفاع نسبة الأملاح فى التربه نتيجـة إضافـة المخلفات الحيوانية والحمأة تزيد فى أراضى المناطق الجافة عنها فى أراضـى المناطق الرطبة لأن كمية الأملاح المضافة إلى التربه تزيد عن كمية الأمـلاح المغسولة من التربه بواسطة الأمطار والنتيجـة هـو تراكـم الأمـلاح بـهذه الأراضى.

تختلف نسبة الأملاح فى المخلفات العضويه باختلاف المصدر وبوجه عـام يمكن خفض مخاطر تجمع الأملاح فى التربه نتيجة إضافة المخلفات العضويـه الحيوانية عن طريق خفض المحتوى الملحى لأغذية الحيوانات .

التركيب الكيميائى للمخلفات العضويه

تحتوى جميع المخلفات العضويه على عناصر أساسية مثل الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين والفوسفور والكبريت . وتختلف مكونات المخلفات العضوية الناتجة من التصنيع الزراعى باختلاف المصدر فمثلا مخلفات الصناعات الغذائية تحتوى على قدر كبير من اللجنين والسليلوز أما مخلفات صناعة الورق والسكر فتحتوى على قدر كبير من الكربوهيدرات فى حين أن مخلفات صناعات الألبان واللحوم فتحتوى على قدر كبير من الأحماض الدهنية والبروتين .

مخلفات الحيوانات Animal wastes

تتركب مخلفات الحيوانات أساسا من :

١. بقايا طعام غير مهضوم الذى هو عبارة عن سيليلوز ولجنين وبعض المواد الدباليه كما يحتوى أيضا على خلايا كائنات حية دقيقة .
٢. النيتروجين فى صورة عضويه (بروتين غير مهضوم وخلايا الكائنات الحية الدقيقة) .
٣. تحتوى الأسمدة العضوية السائلة على قدر كبير من الأمونيا NH_3 الذى يتكون من التحلل المائى لليوريا .
٤. ليبيدات بالإضافة مواد شبه دباليه
٥. أنواع عديدة من المضادات الحيويه والهرمونات .

وتختلف مكونات الأسمدة العضوية الحيوانية المضافة للتربه الزراعية فى محتواها من العناصر الغذائية تبعا لنوع الحيوان ونوع الغذاء والمواد المالئه المضافة للغذاء وظروف التخزين . ينخفض النيتروجين الصالح للإمتصاص

بواسطة النباتات فى السماد العضوى تبعا لدرجة فقد النيتروجين منه على صورة أمونيا من خلال عملية التطاير أو فقد النترات من خلال عملية الغسيل فالسماد العضوى الذى يتعرض لدورات إبتلال وتجفيف يكون عرضه لفقد كميات كبيرة من النيتروجين ويصبح النيتروجين المتبقى كمية قليلة لا تفى باحتياجات النبات . ويوضح الجدول (7-1) التركيب الكيميائى للأسمدة العضوية الحيوانية .

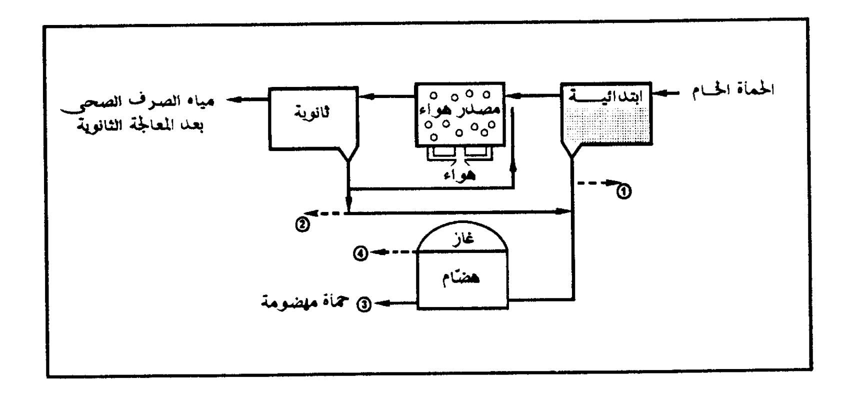
جدول (7-1) : التركيب الكيميائى للأسمدة العضوية الحيوانية

المكونات	المدى (%)
مركبات ذائبة فى الكحول	1.8 – 2.8
مركبات ذائبة فى الماء البارد	3.2 – 19.2
مركبات ذائبة فى الماء الساخن	2.4 – 5.7
هيمسيليلوز	18.5 – 23.5
سيليلوز	18.7 – 27.5
لجنين	14.2 – 20.7
نيتروجين كلى	1.1 – 4.1
رماد	9.1 - 17.2

Mc calla et al. (1977). Soils for management of organic wastes and waste waters ASA Wis. 9 – 43.

الحمأة Sewage sludge

يطلق اسم الحمأة هنا (Sewage sludge) على المخلفات الصلبة بعد المعالجة الحرارية واللاهوائية ويوضح الشكل (1-1) الطريقة المتبعة لمعالجة مياه الصرف الصحى وفيما يلى وصف مختصر لعمليات المعالجة المختلفة .



شكل (1-1) : رسم تخطيطى يوضح خطوات المعالجة البيولوجيه لمياه الصرف الصحى .

<u>المعالجة الإبتدائية Primary Treatment</u>

وهى عبارة عن عملية حجز وترسيب المواد الصلبه الموجودة فــــى ميــاه الصرف الصحى . والمياه الناتجة من هذه المعالجة تحتوى على مواد صلبـــــه عالقة لم تترسب بالإضافة إلى مركبات عضويه وغير عضويه ذائبه فى المـــاء كما تحتوى ايضا على طفيليات وكائنات حية دقيقة .

<u>المعالجة الثانوية Secondary Treatment</u>

وهذه العملية الغرض منها خفض كمية المـــواد الصلبـــه وإزالـــة المـــواد المستهلكة للأكسجين وتشمل المعالجة الثانوية الخطوات التالية :

أ . معالجة إبتدائية ويتم فيها حجز المواد الصلبه والأتربه والرمال والحمـــأة فى الترسيب الأبتدائى .

ب. أحواض نهريه أو مرشحات بيولوجيه ويتم فيها أكسدة المواد العضوية .
ت . ترسيب ثانوى ويتم فيها ترسيب الحمأة الناتجة من أحواض التهوية .

وفى طريقة المعالجة الثانوية يتم جرى عمليتين بيولوجيتين مختلفتين وهما الهضم الهوائى واللأهوائى aerobic & anaerobic digestion وفى هذه المرحلة تموت الكائنات الحية الدقيقة أما المياه الناتجة فتحتوى على تركيزات عالية من العناصر الغذائية والحمأة الناتجة من المعالجة الثانوية غالبا ما يتم إضافتها للأراضى الزراعية .

المعالجة المتقدمة Advanced Treatment

وتستخدم هذه المعالجة لتنقية المياه بصورة أفضل ولإزالة نسبة كبيرة من الفوسفور غير العضوى تصل إلى 30 % . وفى هذه المرحلة تستخدم طرق كيميائية وبيولوجية كثيرة منها إضافة الحجر الجيرى لترسيب الفوسفور واستخدام المرشحات لإزالة الخلايا البيولوجية والمواد العضوية العالقة واستخدام الفحم النشط لإدمصاص المركبات العضوية .

الكميات الهائلة الناتجة من محطات معالجة مياه الصرف الصحى تمثل مشكلة كبرى من ناحية تخزينها والتخلص منها . ويعد استخدام الحمأة فى الإنتاج الزراعى بإضافتها للأراضى الزراعية أحد الحلول الجذابة لهذه المشكلة اذا ما قورنت بالطرق الأخرى المستخدمة والتى يعد أغلبها طرفا مدمرة للبيئه. علما بأن إضافة الحمأة إلى الأراضى الزراعية لا يمثل تهديدا حقيقيا للبيئه إذا ماتم إضافتها بمعدلات مناسبة لا تسمح بزيادة تركيز العناصر الغذائية فى التربه . والحقيقة أن الاعتراضات على إضافة الحمأة للتربه هى اعتراضات على معدل وفترة إضافة الحمأة ونوع الحمأة المضافة للتربه (حمأة غير معالجة أو معالجة ابتدائيا) وليس على مبدأ إضافة الحمأة إلى التربه الزراعية .

فرص الأستخدام الآمن للحمأة فى الإنتاج الزراعى تزيد زيادة كبيرة بعد معاملتها بيولوجيا لأن ذلك يقلل من مخاطر إضافة البكتريا الممرضة ويزيل الروائح الكريهة بها . فالمعاملة البيولوجية لمياه الصرف الصحى تهدف أساسا إلى قتل البكتريا الممرضة وخفض كمية المواد الصلبة العالقة وخفض المواد المستهلكة للأكسجين فى المياه إلى الحد الذى يسمح بالتخلص من هذه المياه فى البحيرات والمسطحات المائية دون أن يمثل خطرا على البيئه . ونظرا للقيود الشديد المفروضة محليا عالميا على خواص وصفات مياه الشرب فإنه من المتوقع فى المستقبل أن توضع قيودا شديدا على التخلص من هذه المياه فى البحيرات واستخدامها بدلا من ذلك فى الأغراض الزراعية .

الناتج النهائى المتحصل عليه من المعالجة البيولوجية لمياه الصرف والذى يستخدم ف الإنتاج الزراعى هو عبارة عن ناتج غليظ القوام ذو رائحة ولا يحتوى على مواد صلبه خام أو غير مهضومه وأغلب الحمأة الناتجة من محطات الصرف الصحى تحتوى على 5% - 2 مواد صلبه أما المياه الناتجة فتكون سوداء اللون تحتوى على مواد صلبه وغرويات عالقه .

والجزء الصلب من الحمأة يتكون تقريبا من نسب متساوية من المواد العضويه وغير العضويه . وتشمل المواد غير العضويه عناصر B, Mn, Ni, Cr, Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, Cl, S, K, P, N وغيرها أما المواد العضويه فهى مخلوط معقد يتكون من : ـــ

(i) مكونات مهضومه digested مقاومة للتحلل اللأهوائى .

(ii) خلايا كائنات دقيقة حية وميته .

(iii) مركبات تم تخليقها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة خلال عملية الهضم .

والمكون العضوى من الحمأة يكون غالبا غنى بعناصر النيتروجين والفوسفور والكبريت وتتراوح نسبة C/N فى الحمأة المهضومه بين 12 - 7 وبمتوسط حوالى 10 ومحتوى الحمأة من النيتروجين الصالح للنبات (NO_3 , NH_4) يكون منخفضا نتيجة المعالجة البيولوجية التى تعمل على ثبات النيتروجين العضوى .

يتغير التركيب الكيميائى للحمأة المهضومه digested من مدينة لأخرى ومن منطقة لأخرى ويوضح جدول (8-1) التركيب الكيميائى للحماه المهضومه .

جدول (8-1) : التركيب الكيميائى للحماه المهضومه

المكـــون	مدى % للمادة العضويه
دهون وزيوت وشموع	19.1 – 19.8
راتنجات	3.8 – 8.2
عديد السكريات الذائب فى الماء	3.2 – 14.4
هيميسليلوز	4.0 – 6.0
سيليلوز	3.2 – 3.5
لجنين – دبال	14.5 – 16.8
بروتين (N × 6.25)	24.1 – 39.6

Varanka et al., (1976) J. Water Pollut . Control fed 48, 1728.

وتحتوى الحمأة كما سبق ذكره سابقا على كميات كبيرة من العناصر الصغرى والسامه ويتواجد الزنك والنحاس والنيكل والكادميوم والزئبق والرصاص بكميات كبيرة قد تكون سامه للنبات علما بأن صلاحية أى عنصر للنبات يتوقف على عديد من العوامل منها درجة حموضة التربه ومحتوى التربه من الماده العضويه ونوع وكميات معادن الطين والسعه التبادليه الكاتيونيه للتربه وغيرها.

تحلل المخلفات العضويه فى التربه

نظرا للتركيب الكيميائى المعقد للمخلفات العضوية فإن العديد من الكائنات الحية الدقيقة تشترك فى عملية تحلل هذه المخلفات . وسوف نضرب مثلا بالخطوات التى تمر بها تحلل المخلفات النباتية فى التربه فالمخلفات النباتية تمر بعدة مراحل لكى تتحلل . فتلعب الديدان الأرضية وحيوانات التربه دورا كبيرا فى خفض حجم بقايا النباتات الطازجة ويعقب ذلك تحولات عديدة لهذه البقايا عن طريق الإنزيمات التى تفرزها الكائنات الحية الدقيقة . وتتميز المرحلة الأبتدائية لتحلل الميكروب بفقد سريع للمواد العضوية سهلة التحلل وتتوقف كمية الكربون الناتجة من التحلل والمستخدمة لتكوين خلايا جديدة على طبيعة ونوعية الكائنات الحية الدقيقة فى التربه لذلك فالكربون المتاح لتخليق خلايا ميكروبيه جديدة يتراوح بين 70% – 10. والبكتريا المكونة للجراثيم ، molds تعتبر من أنشط الأنواع فى استهلاك البروتين والنشا والسليلوز ونواتج تحلل هذه المواد يشمل NH_3 وكبريتيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون والأحماض العضويه . وتلى المرحلة السابقة هجوم ميكروبى على الأحماض الوسيطة الناتجة والخلايا المتكونة ينتج عنه مواد حيويه جديدة وفقد للكربون على صورة CO_2 . وتتميز المرحلة النهائية بتحليل تدريجى للمكونات النباتية المقاومة للتحلل مثل اللجنين الذى تلعب الاكيتينوميسيتات والفطريات دورا كبيرا فى تحلله .

ويمكن تقسيم مراحل التحلل الميكروبى للبقايا العضويه فى التربه كما يلى :

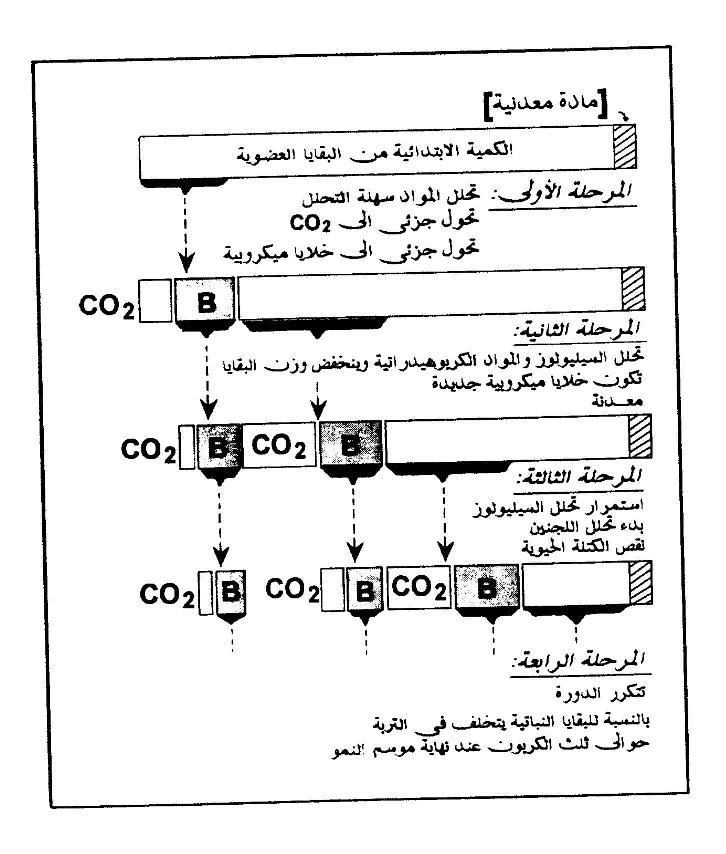
<u>المرحلة الأولى</u> : ويتم فيها تحلل المواد العضويه سهلة التحلل وتحول جزئى للكربون إلى CO_2 وتخليق خلايا جديدة .

<u>المرحلة الثانية</u> : وفيها يتم استهلاك السليلوز والكربوهيدرات يعقبه نقص في كمية البقايا العضويه . وفى هذه المرحلة تتكون خلايا ميكروبيه جديدة ويحدث معدنه لبعض المكونات العضويه .

<u>المرحلة الثالثة</u> : يزداد تحلل السليليوز ويبدأ تحلل اللجنين وتصاحب هذه المرحلة نقص أكبر فى كمية البقايا العضويه .

<u>المرحلة الرابعة</u> : يستمر التحلل وبالنسبة للبقايا النباتية يتخلف منها فى التربه حوالى 1/3 الحجم الأبتدائى فى نهاية موسم النمو .

ويصور الشكل (1-2) مراحل تحلل البقايا النباتية فى التربه :



شكل (2-1) : مراحل التحلل الميكروبى للبقايا العضويه النباتية فى التربه . الحـــرف (B) يمثل الكتلة الحيويه . كل مرحلة من المراحل يحدث فيـــها تحـــول جزئـــى للكربون إلى CO_2 وتخليق أنسجة ميكروبيه جديدة .

ويلاحظ تحلل مكونات البقايا النباتية بمعدلات مختلفة فنجد أن السكريات البسيطة و الأحماض الأمينيه والبروتينات وبعض السكريات العديدة تتحلل بسرعة جدا فى مدة لا تزيد عن ساعات أو أيام . أما الجزيئات الكبيرة فى البقايا النباتية فيجب أن تتكسر إلى وحدات بسيطة قبل تحللها وهو عادة ما يتم بواسطة الإنزيمات المفرزه بواسطة الكائنات الحية الدقيقة . وعديد السكريات والبروتينات تتحلل كما يلى .

Polysaccharides → Oligosaccharides → Simple sugars

Proteins → Peptides → amino acids

وتحلل الجنين بواسطة الفطريات الدقيقة يؤدى إلى تحرر وحداته التى هى عبارة عن **Phenylpropane ($C_6 - C_3$)** التى بدورها تتحلل إلى مركبات فينولية بسيطة .

CH_2OH – CH = CH – (ring with CH_3O and OH): Coniferyl alcohol

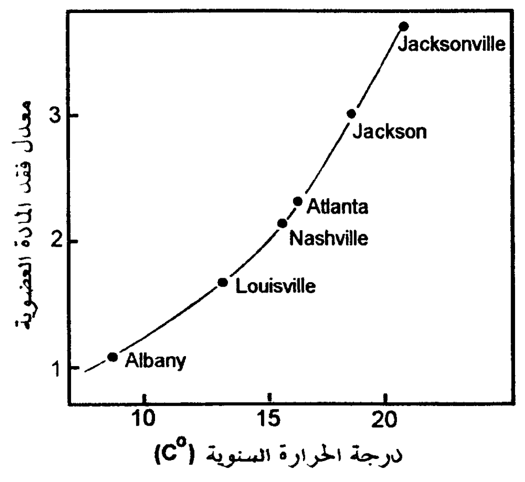
CH_2OH – CH = CH – (ring with OH): p-Hydroxycinnamyl alcohol

CH_2OH – CH = CH – (ring with CH_3O, OCH_3 and OH): Sinapyl alcohol

وأيضا يلاحظ أن نواتج تحلل البقايا النباتية مثل السكريات والأحماض الأمينيه والفينولات يستخدم لبناء خلايا ميكروبيه جديدة التى لا تلبث أن تموت وتتحلل . وكما يحدث فى تحلل البقايا النباتية والحيوانية فإن مكونات الخلايا الميكروبيه تتحلل بمعدلات مختلفة فنجد أن البروتينات والمركبات الكيموحيويه تتحلل بسرعة فى حين أن جدران الخلايا تكون مقاومه للتحلل .

وبوجه عام فإن المخلفات العضويه بأنواعها المختلفة يتوقع أن تتبع نفس المراحل السابق ذكرها عند تحللها فى التربه إلا أن الحمأة المعالجة digested قد تكون أكثر مقاومة للتحلل من البقايا النباتية نتيجة لمرورها بتحولات بيولوجيه سابقة بالإضافة إلى احتواؤها على تركيزات عالية من المواد غير العضويه .

ويتوقف درجة تحلل المواد العضويه على درجة الحرارة فيزيد معدل تحللها بزيادة درجة الحرارة وذلك راجع إلى زيادة النشاط الميكروبى بزيادة درجة الحرارة . ويوضح الشكل (3-1) تأثير متوسط درجة الحرارة السنوى على معدل فقد المادة العضويه فى مناطق ذات درجات حرارة مختلفة .



شكل (3-7) : تأثير متوسط درجة الحرارة السنوى على معدل فقد المادة العضويه .

إدارة المخلفات العضوية لتعظيم الاستفادة من النيتروجين

تتوقف معدلات إضافة المخلفات العضويه إلى الأراضى الزراعية على كمية العناصر الكبرى (N, P, K) التى ستصبح صالحة للإمتصاص بواسطة النبات خلال العام الذى تتم فيه الإضافة . وفى الوقت نفسه قد توجد قيود على معدلات الإضافة المسموح بها تبعا لمحتوى المخلفات العضويه من العناصر السامه . لذلك سوف نناقش هنا الحالة التى يتم فيها إضافة المخلفات العضويه تبعا لمحتواها من النيتروجين وتوجد مشكلة فقد NO_3 بالغسيل وسوف نركز فى مناقشتنا على الأسمدة العضويه الحيوانية آخذين فى الاعتبار أن المبادىء الأساسية التى تحكم هذه الحالة هى نفسها التى يجب تطبيقها عند إضافة كافة أنواع المخلفات العضويه .

والمشكلة التى نحن بصدد مناقشتها تعتبر غاية فى التعقيد وذلك لتعدد صور النيتروجين المختلفة التى نتعامل معها وأيضا لصعوبة التنبؤ بأى من صور النيتروجين سوف تتواجد وزمن تواجدها . ويمكن القول بوجه عام أن كمية NO_3 الناتجة والتى سوف تصبح صالحة للإمتصاص بواسطة النبات أو تتعرض للغسيل أو لعملية عكس النترته هى عبارة عن الفرق بين الكمية الكلية للنيتروجين المضاف والكمية الممسوكة فى التربه والموجودة فى صورة عضويه (كمية النيتروجين المتبقى فى الأرض فى نهاية موسم النمو) . وكمية النيتروجين التى يتم مسكها فى التربه تتوقف بدرجة كبيرة على الكربون الممسوك بالتربه والذى يقدر تقريبا بحوالى 1/3 الكربون المضاف إلى التربه وأن كانت بعض الأبحاث أوضحت أن حوالى 50% من الكربون سوف يمسك فى التربه عند إضافة الأسمدة العضويه الحيوانية إلى التربه بمعدلات عالية ويرجع ذلك غالبا إلى حقيقة إحتواء الأسمدة العضويه على مواد شبه دباليه

تكون مقاومه نسبيا للتحلل .

وترجع أهمية ما ذكر عن الكربون أن النيتروجين يمسك immobilized في التربه مع الكربون بنسبة 10 أجزاء كربون إلى 1 جزء نيتروجين وهى تقريبا نفس نسبة C/N فى خلايا الكائنات الحية الدقيقة . وعلى ذلك فإضافة مخلفات عضويه إلى التربه بمعدل 10 طن (وزن جاف) سوف يتخلف منها فى التربه بعد عام من الإضافه حوالى 1/3 هذه الكمية فى صورة معدله والتى تقدر بحوالى 3,300 كجم . وبأفتراض أن 90% من المادة الجافه فى السماد العضوى هى عبارة عن مواد عضويه تحتوى على 50% كربون أى أن حوالى 1500 كجم سوف تبقى فى التربه وأن 1/10 هذه النسبة من N (150 kg) سوف تبقى ايضا فى التربه أما اذا افترضنا بقاء 50% من الكربون المضاف إلى التربه فإن 225 kg من النيتروجين سوف يتبقى فى التربه .

ويوضح الجدولين (1-9 , 1-10) كمية النيتروجين غير العضوى المتوقع تحررها عند إضافة 10 ,20 طن من السماد العضوى المحتوى على نسب مختلفة من النيتروجين (فى حالة تبقى 30% من الكربون ، 50% من الكربون بالترتيب) . علما بأن السماد الحيوانى المكمور يحتوى على حوالى 2.5–3.5% N فى حين أن السماد الحيوانى الطازج فيحتوى على حوالى 4% N ونسبة رطوبة 75% .

جدول (1-9) : الميزان النيتروجينى عند إضافة 10 ,20 طن سماد عضوى سنويا يحتوى على نسب مختلفة من النيتروجين (فى حالة تبقى 1/3 كربون فى التربه)

10 طن				20 طن		
N %	N كلى	يتخلف مع البقايا	Nغير عضوى	N الكلى	ممسوك مع البقايا	N غير عضوى
1.5	150	150	-	300	300	-
2.0	200	150	50	400	300	100
2.5	250	150	100	500	300	200
3.0	300	150	150	600	300	300
4.0	400	150	250	800	300	500
5.0	500	150	350	1.000	300	700

جدول (1-10) : الميزان النيتروجينى عند إضافة 10 ,20 طن سماد عضوى سنويا يحتوى على نسب مختلفة من النيتروجين (فى حالة تبقى ½ الكربون فى التربه) .

10 طن				20 طن		
N %	N كلى	ممسوك مع البقايا	Nغير عضوى	N الكلى	ممسوك مع البقايا	N غير عضوى
2.0	200	225	-	400	450	–
2.5	250	225	25	500	450	50
3.0	300	225	75	600	450	150
3.5	350	225	125	700	450	250
4.0	400	225	175	800	450	350
5.0	500	225	275	1.000	450	500

يوضح الجدول (11-1) كميات الأسمدة المطلوب إضافتها للتربه للحصـــول على كميات 180 ,90 كجم من النيتروجين الصالح للنبات .

جدول (11-1) : كمية السماد العضوى بالطن الواجب إضافتها للهكتار للحصول على 90 ,180 كجم نيتروجين صالح للنبات (معدنى) .

محتوى السماد من النيتروجين	1/3 الكربون متبقى		½ الكربون متبقى	
%	90 kg N	180 kg N	90 kg N	180 kg N
2.0	20	40	-	-
2.5	10	20	40	80
3.0	7	14	13	26
3.5	5	10	8	16
4.5	4	8	6	12

يجب التنويه أن الجداول السابقة تعبر عن إضافة واحدة فقط مـــن الســـماد ولذلك فعند إضافة معدلات متتالية لمدة سنين متعاقبة يجـــب تغيـــير طريقـــة الحساب بحيث نأخذ فى الأعتبار المواد العضويه المتبقية من الســـنة الأولـــي وتحللها فى السنوات التالية مما ينتج عنه تحرر وانطلاق كميات من النيتروجين المعدنى . ولحساب ذلك تقريبا يفترض أن حوالى ¼ - 1/3 النيتروجين المتبقـــى سوف يحدث له معدنه فى السنة التالية حتى ينتهى كل النيتروجين المتبقى فـــى حوالى خمسة أعوام ومن الناحية العملية فهذا يعنى أن معدل إضافـــة الســـماد العضوى يجب أن يتناقص كل عام ولمدة خمسة أعوام وبعد ذلك (خمسة أعوام) يمكن إعتبار أن محتوى السماد العضوى من النيتروجين كليـــة عبـــارة عـــن نيتروجين صالح بالنسبة للنبات لأن الكمية من النيتروجين التى سوف تمسك فى التربه وتبقى سوف يتم تعويضها من معدنه النيتروجين العضوى المتبقى مـــن الإضافات السابقة .

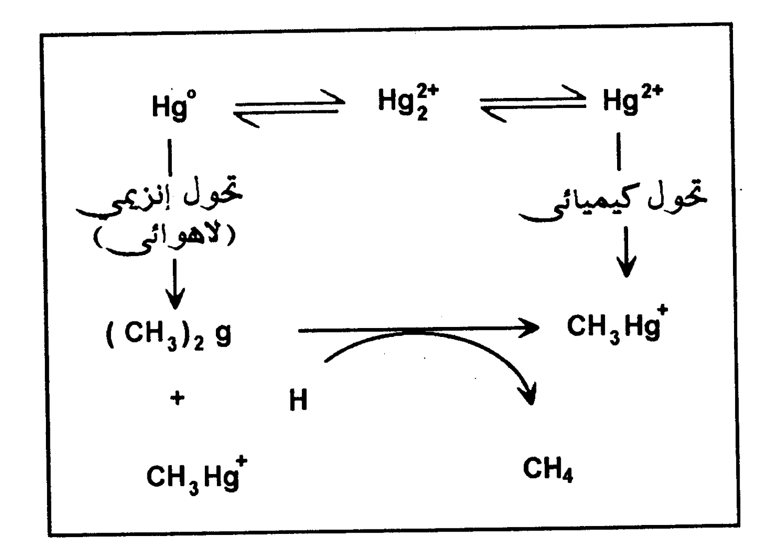
تخليق مركبات مسببه للسرطان

نتيجة نشاط الكائنات الحية الدقيقة فى التربه على المخلفات العضويه يمكن أن تتكون مركبات عضويه مسببه للسرطان أو مركبات سامه . وهذه المركبات تشمل nitrosamine, dimethylselenide, dimethylarsine, methylmurcury. وهذه المركبات لا تتواجد فى الأراضى الزراعية تحت الظروف العادية ولكنها من الممكن تكونها فى الأراضى الملوثه .

Methylmercury

التخلص من مياه الصرف الصناعى المحتويه على زئبق فى المجارى المائيه يمكن أن يؤدى إلى تكون مركب methyl mercury (CH_3Hg^+) من خلال النشاط الميكروبى وهذه المركبات السامه تتجمع فى الأسماك التى تستهلك بواسطة الإنسان ويمكن أن يؤدى ذلك إلى أمراض خطيرة للإنسان ولقد تم رصد حالات وفاة للأشخاص نتيجة التسمم بميثيل الزئبق .

الرسوبيات فى قاع كثير من البحيرات والمجارى المائيه ثبت تلوثها بالزئبق والتحول البطيء لذلك العنصر على صورة ميثيل أمر محتمل على المدى القريب . ومصادر تلوث الأراضى الزراعية بالزئبق تشمل المبيدات والمخلفات العضويه مثل الحمأة الناتجة من الصرف الصحى . ويوضح الشكل (4-1) الخطوات المقترحة لتحول عنصر الزئبق إلى ميثيل الزئبق بواسطة الكائنات الحية الدقيقة الهوائية وغير الهوائية عن طريق الإنزيم الخاص بها وهو ميثيل كوبل أمين methyl cobal amin ($CH_3 - B_{12}$) .



شكل (1-4) : الميكانكيه المقترحه لتحول الزئبق إلى ميثيل الزئبق بواسطة الكائنات الحيــة الدقيقة .Wood, J. M. (1974). Science, 183, 1049

Dimethylarsine

يلقى عنصر الزرنيخ إهتماما بيئيا كبيرا نتيجـة استخدامه فـى تصنيـع المبيدات ومواد رش الأوراق وايضا لسميته الشديدة للإنسان . وتكمن المشـكلة فى عنصر الزرنيخ فى أنه (كما فى الزئبـق) يتحـول إلـى dimethylarsine بواسطة الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية ويتجمع فى الأسـماك . وميكانيكيـة تكون dimethyl arsine تشبـه إلى حـد كبيـر تلـك الخاصـة بـالزئبق ويوضحها شكل (1-5) .

$HO-As^{5+}(OH)(=O)-OH \xrightarrow{2e} As^{3+}(=O)-OH \xrightarrow{CH_3\text{-}B_{12} \rightarrow B_{12r}} HO-As^{3+}(CH_3)(O)-OH$

Arsenate — Arsenite — Methyl arsonic acid

$\xrightarrow[2e]{CH_3\text{-}B_{12} \rightarrow B_{12r}} HO-As^{+}(CH_3)(=O)-CH_3 \xrightarrow{4e} As^{3-}(CH_3)(H)-CH_3$

dimethyl arsinic acid — dimethyl arsinie

شكل (5-1) : الميكانكيه المقترحه لتكون dimethylarsine

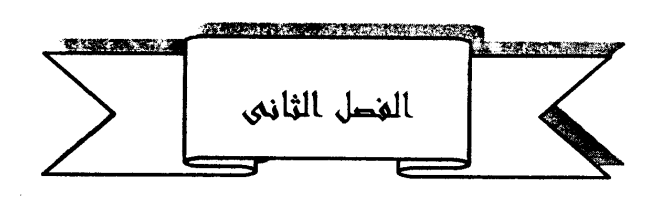
Dimethyl Selendie

تتعرض الصور الآنيونيه للسيلينْوم إلى النشاط الميكروبى وتتحـــول إلـــى dimethylselenide . ونتيجة لخاصية التجمع الحيوى للسيلينوم فـــإن النباتـــات الناميه فى أراضى ذات محتوى عالى من السلينيوم تعمل على تجميع الســيلينوم فى أجزائها بتركيزات تكون سامه للحيوانات . ولقد أقترح مؤخرا إمكانية تكون dimethyl selenide فى الأراضى الملوثه بالسيلينوم وهذه الصورة يمكن فقدهـــا من الأراضى بالتطاير .

Nitros amines

يتكون النيتروز آمين السام عن طريق التفاعل الكيميـــائى بيـــن الآمينـــات RNH ، الن[illegible]ريت NO_2 شريطه تواجد هذين المركبين فى نفـــس الوقـــت . و[illegible] NO_2 ال[illegible]طلوب لإتمام التفاعل مركب وسيط ينتج خلال التحولات

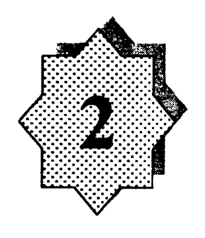
البيوكيميائيه للنيتروجين ونادرا ما يتواجد فى الأراضـــى إلا أن تجمــع هــذا المركب فى بعض المواقع أمر وارد ومحتمل حينما يحـــدث تثبيــط للبكتريـــا المؤكسدة للنيتريت (نيتروباكتر) بواسطة الأمونيا NH_3 الحره . ولقد أوضحــت الدراسات تكوين ثنائى ميثيل آمين ، ثنائى إيثيل آمين عند تفاعل المبيدات مــع الأراضى وهذا يمكن أن يؤدى إلى تكوين نيتروز آمين إلا أنه لا يوجد إثبـــات حتى الآن على تكون نيتروز آمين فى الأراضى طبيعيا .



التربة كوسط لمعالجة الملوثات

Soil As A Treatment Medium

- **خواص التربه الواجب فحصها عند استخدام مياه الصرف الصحى .**
  - الخواص الفيزيائية
  - الخواص الكيميائية
- **ميكانيكيات المعالجة ومقدرة التربه على استيعاب الملوثات**
  - الميكانيكية الفيزيائية
  - الميكانيكية الكيميائية
  - الميكانيكية البيولوجية
- **حساب معدل إضافة الحمأة للأراضى الزراعية**



التربه كوسط لمعالجة الملوثات

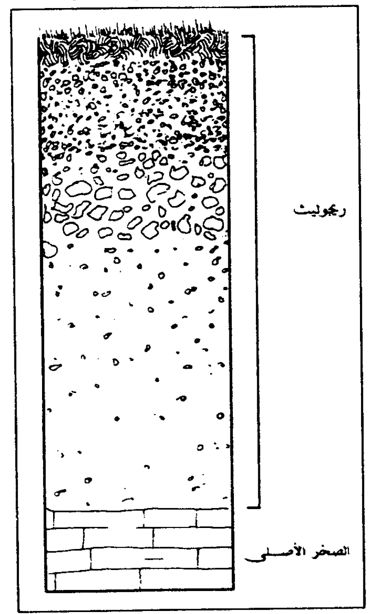
Soil As A Treatment Medium

معقد التربة soil complex يعتبر وسط يحتوى على العديد من الاختلافـــات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية وفى غياب القواعد المحددة التى يجب إتباعها عند إضافة الملوثات للتربه يتحتم تقييم خواص كل تربه فى كـــل موقـــع مـــن المواقع قبل إعطاء التوصيات الواجب مراعاتها عند إضافـــة المخلفـــات إلـــى التربه. فنظم إضافة المخلفات للتربه عادة ما تقسم تبعـــا للخـــواص الحركيـــة الرأسية للماء خلال التربة أى نفاذية التربة . أيضا يؤخذ فى الاعتبار مقـــدرة التربة على احتواء وتحوير مكونات الملوثـــات المضافـــة شـــاملة المركبـــات العضوية و Pathogens والعناصر الصغرى والسامة والأملاح الذائبة والعناصر الكبرى مثل النيتروجين والفوسفور . وتقييم المواقع المختلفة للتربة يحتم علينـــا فهم مكونات وخواص التربة وميكانيكيات إضافة الملوثات والعوامل المحـــددة لهذه الميكانيكيات متمثلة فى معدل إضافة الملوثات وقدرة التربه على استيعابها.

لفظ "تربة Soil" يعنى معانى عديدة تبعا لطريقة استخدامها فالشكـــل رقـــم (2-1) يمثل قطاع رأسى فى القشرة الأرضية ممتدا من السطح حتى الصخـــر الأصلى bedrock وتعرف المواد المفتتة التى تعلو الصخر الأصلى بالريجوليث

regolith وهى تكونت نتيجة تجوية الصخور أو نتيجة النقل بالرياح أو الماء أو الجليد ثم ترسبت بعد ذلك فوق الصخور الموجودة أسفلها ونتيجة لتضافر عوامل المناخ والأحياء الدقيقة فإن الطبقة العليا من الريجوليث تتحول إلى طبقات أفقيه يطلق عليها اسم آفاق horizons . وبالنسبة إلى المشتغلين بالأراضى فإن التربة تعنى الطبقة العليا من الريجوليت وهى التى يطلق عليها طبقة الاستزراع وهى نادراً ما تتعدى عمق ١ متر فى حين أن الريجوليث قد يصل عمقه مئات الأمتار . وفى حالة استخدام التربة كمستقبل للمخلفات فإن من الأفضل استخدام لفظ التربة "soil" ليشمل الريجوليث بأكمله حيث تعتبر جميع المواد المفتتة أعلى الصخر الأصلى bedrock أداة فى عملية معالجة المخلفات .

"جميع المواد أعلى الصخر الأصلى يطلق عليها ريجوليث ولفظ تربه" يشمل كل الريجوليث وذلك عند الحديث عن معالجة المخلفات" .



شكل (2-1) : قطاع رأسى فى التربه يصل إلى الصخر الأصلى .

نظم إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى
Land Treatment system of Sewage Effluent

يتم إضافة المخلفات العضويه ومياه الصرف إلى الأراضى منذ زمن بعيد كوسيلة للتخلص من المخلفات . وتعتبر إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى آمنه وفعاله إذا ماتم إضافتها بالطرق العلميه الصحيحة المصممة خصيصا لذلك . ويعتبر استخدام مياه الصرف الصحى فى رى الأراضى الزراعية جزء من نظم إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى .

وتعمل كلا من التربه والنباتات كمرشح حيوى living falter يمتص ويحتجز الملوثات والكائنات الحية الممرضه الموجودة فى مخلفات ومياه الصرف الصحى . فإضافة مياه الصرف الصحى المعالجة جزئيا إلى التربه ينتج عنها معالجة لهذه المياه حيث يتم خفض تركيزات المركبات العضويه وغير العضويه وكذلك مستويات الكائنات الحية الدقيقة الضاره بها إلى مستويات مقبولة مما يتيح فرصة إعادة إستخدامها بطريقة آمنه وفعاله .

والإنتقادات الرئيسية التى توجه إلى نظم إصافة المخلفات إلى التربه ترتكز على العوامل التالية :

١. الخطورة على الصحة العامه مثل إنتقال البكتريا والفيروسات الممرضه إلى الإنسان والحيوان .

٢. تأثير إضافة المخلفات فى المدى الطويل على الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربه .

٣. عدم قبول المستهلك للمحاصيل المنتجة باستخدام مياه الصرف الصحى فى الرى .

التربه بإعتبارها نظام ديناميكى حى تتمير بإمتلاكها سطح نشط جدا وتجرى فيها عمليات فيزيائية وكيميائية وبيولوجية متكاملة تتفاعل بقوة مع مكونات مياه الصرف الصحى ويمكن للتربه أن تحد بفعالية من البكتريا والبروتوزوا التـــى تصل إليها عند إضافة مياه الصرف الصحى خاصة تلك الناتجة من المعاملـــة الثانويه . وتتراوح فترة بقاء الكائنات الحية الممرضه فى التربه من أيام إلـــى شهور وهذا يتوقف على نوع الكائنات الحيه وظروف التربه ويجب أن يؤخـــذ ذلك فى الاعتبار عند تصميم نظام إضافة مياه الصرف الصحى إلى التربه .

والمركبات العضويه التى تضاف مع مياه الصرف الصحى إلـــى التربـــه تتحلل إلى ثانى أكسيد الكربون وماء ومركبات غير عضويه . والمركبات غير العضويه فى مياه الصرف الصحى يمكن أن تتبادل أو تدمص أو تترســـب أو تدخل فى تفاعلات كيميائية تحولها إلى مركبات قليلة الذوبان أو تمتص بواسطة النبات وبالتالى فهى تزال جزئيا من المحلول .

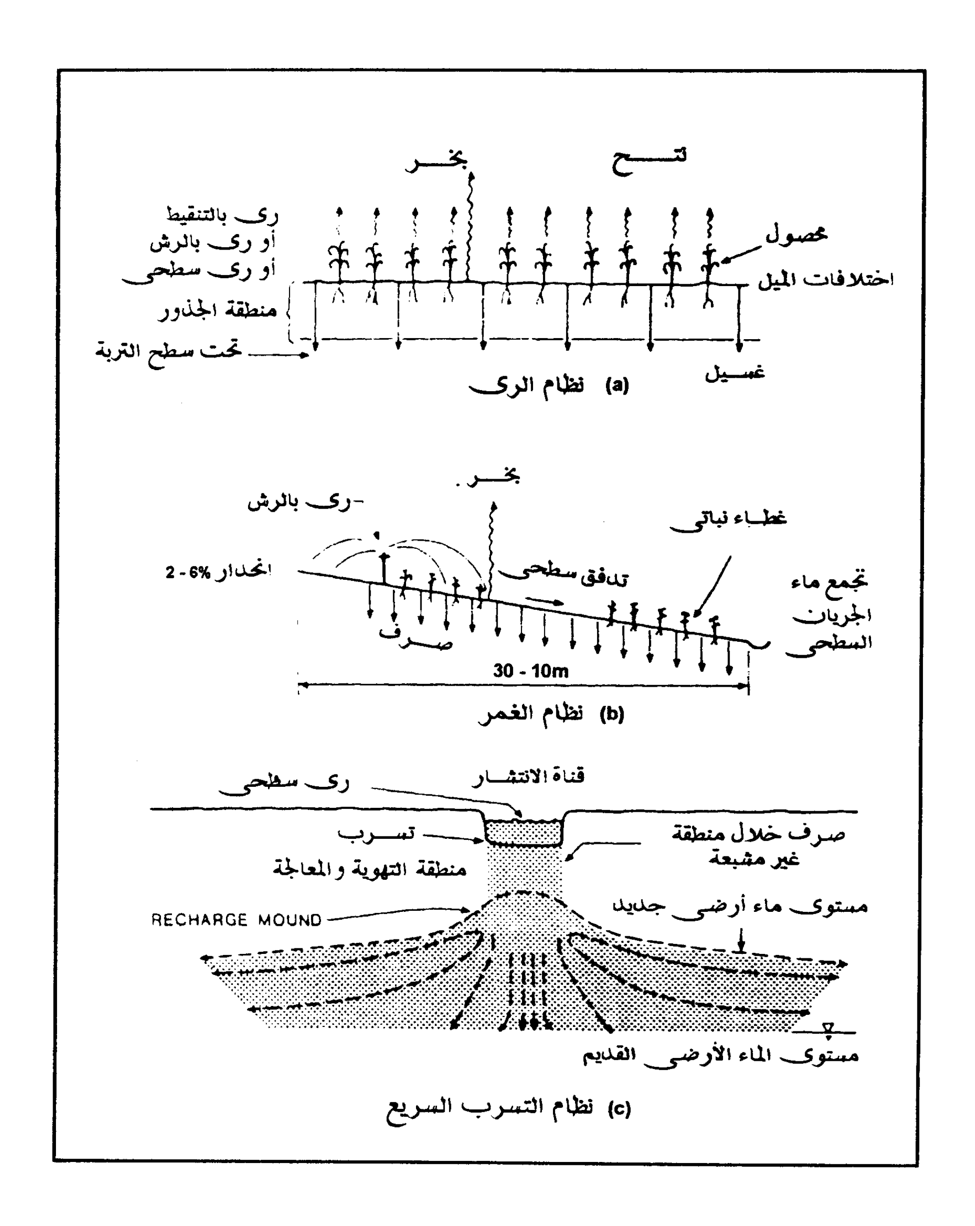
يوجد ثلاث أنواع من نظم إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى هى :

١. نظام الرى (معدل منخفض)

٢. نظام الغمر overland flow

٣. نظام الرشح السريع Rapid infiltration

ويوضح الشكل رقم (2-2) رسم تخطيطى لهذه النظم .



شكل (2-2) : نظم إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى

كما يوضح جدول (2-1) الخصائص الرئيسية لكل نظام من نظم إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى

جدول (2-1) : مقارنة بين خصائص نظم إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى*

العامل	الرى	الغمر	الرشح السريع
معدل إستيعاب السائل	12.5-100 mm/week	50-140 mm/week	100-3000 mm/week
الإضافه السنويه	600-2400mm/yr	2400-7200 mm/yr	5,500-15,000mm/yr
مساحة الأراضى المطلوبــه لكل $1000m^3/d$	15 - 60 /ha	5 – 15 ha	0.2 -7
التربــــــه	• متوسطة النفاذية • Loamy sands to clay loams	بطيئة النفاذية Silt loam to clay	سريعة النفاذية Sandy loam to sand
الانحــــدار	• محاصيل حقليه 0-6% • حشائش وغابات 0-15%	2 - 6%	< 2%
إزالة المواد الصلبه العالقه	90 – 99%	90 - 99%	90 – 99%
إزالة النيتروجين	80 – 100%	70 – 90%	0 – 80%
إزالة الفوسفو.	95 – 100%	50 – 60%	70 – 95%
مصير مياه الصرف الصحى	صرف عمق جريان سطحى إعادة إستخدام بخر نتح	صرف عميق محدود جريان سطحى وإعــادة إستخدام بخر نتح محدود	صرف عميق كبير يذهب إلى المياه الجوفيه لايوجد جريان سطحى بخر نتح ضعيف جدا

* الرى بمعدل 100mm/week يكون موسمى أما إضافة 2400 mm/yr يكون فى المتوسط 60mm/week لمدة 40 أسبوع .

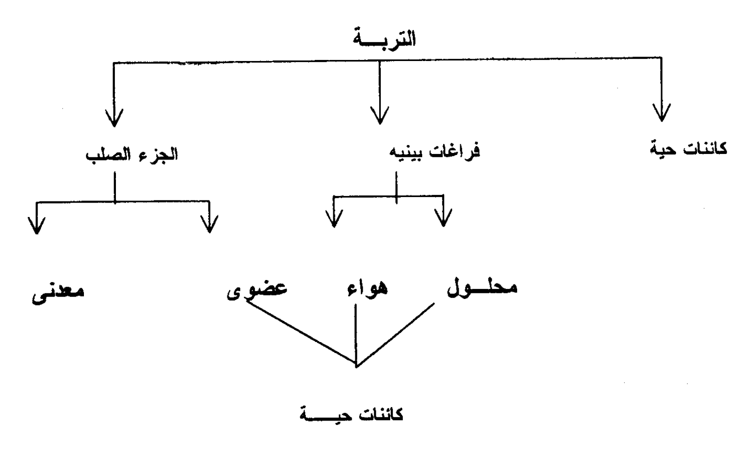
ويعتبر إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى تحت نظام الرى بمعدل منخفض (7.5 cm/week >) إقتصاديا فى المحاصيل الزراعية خاصة عندما يكون سعر الماء عالى . أما نظام الرى بعدل عالى (7.5- 10 cm/week) فيستخدم فى زراعة الحشائش المتحمله لقلة الأكسجين ويكون الغرض الأساسى من إضافة مياه الصرف الصحى هو معالجة هذه المياه .

أما فى نظام الرشح السريع فتستخدم معدلات إضافه للمياه أعلى بكثير من المعدلات المستخدمة فى النظم الأخرى ويتم ذلك عن طريق إستخدام رشاشات فى الأراضى سريعة النفاذيه ويمكن تحت هذا النظام إعادة إستخدام المياه الراشحه (مياه الصرف) .

ويعتمد نظام الغمر على إضافة مياه الصرف الصحى للأراضى بطيئة النفاذية أو الأراضى ذات الأنحدار العالى والتى بها غطاء نباتى . حيث يتم تدفق مياه الصرف الصحى على طول 100m – 30 أرض بانحدار 2-3% خلال الحشائش وتعتبر هذه الطريقة ذات كفاءة عالية فى خفض الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD) والمواد الصلبه العالقة والنيتروجين . وبوجه عام فإن هذه الطريقة تكون أكثر كفاءة تحت ظروف درجة الحرارة العالية . ونظام الغمر كطريقة من طرق المعالجة تعتبر أقل كفاءة من نظام الرى بمعدل منخفض .

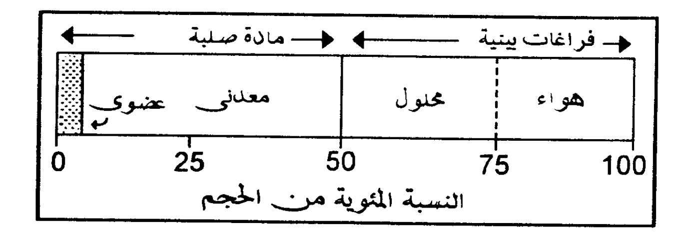
خواص التربه الواجب فحصها عند إضافة مياه الصرف الصحى

تتكون التربة من الطور الصلب الذى يتخلله الفراغات البينية ويتكون الجزء الصلب فى التربه أساسا من الحبيبات المعدنية الناتجة من الصخور ومن المادة العضوية الناتجة من تحلل بقايا النباتات والحيوانات وتمتلىء الفراغات البينيه فى التربة بالهواء أو المحلول المائى المذاب فيه أملاح والتربة بشقيها الصلب والسائل تعتبر بيئية مناسبة لنمو الكائنات الحية الدقيقة .



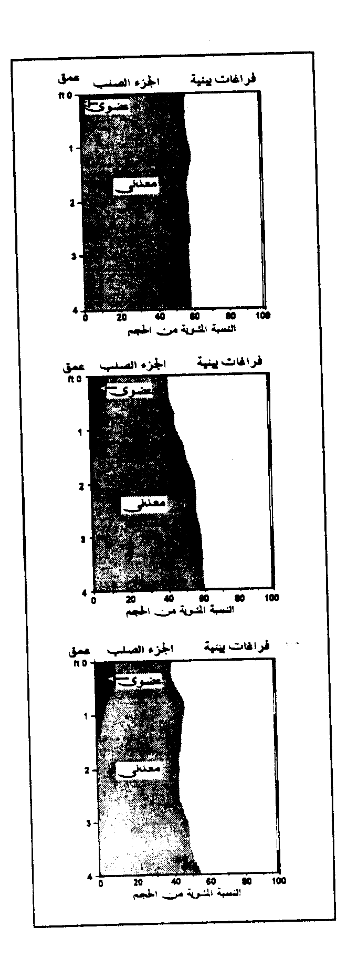
ويرتبط سلوك كلا من الماء ومكونات المخلفات فى التربة إرتبـــاط وثيقـــا بحجم وترتيب الحبيبات المعدنية وايضا كمية المادة العضوية وذلك لأن طبيعـــة وكمية الفراغات البينيه تتوقف على هذين العاملين ويوضح الشكل رقـــم (2-3) النسب التقريبية لمكونات التربة السطحية فى الأراضى الزراعية . ويلاحـظ أن الطور الصلب والفراغات البينيه تحتلان نسب متساوية فى التربـــة . كمـــا أن المادة العضوية تمثل حوالى 10% من الجزء الصلب والباقى يعتـــبر حبيبـــات معدنية . وتمتلىء نصف الفراغات البينيه بالماء بينما النصف الأخر يمتلـــىء بالهواء وذلك فى الأحوال الطبيعية التى لا تكون فيها التربة جافه جدا أو رطبه جدا

"سلوك مياه الصرف الصحى فى التربة يتأثر بطبيعة الفراغات البينيـــه التى تتحدد تبعا لخواص الحبيبات المعدنية والمادة العضوية" .



شكل (2-3) : التركيب الحجمى لتربة زراعية سطحية تحت ظروف ملائمة لنمو النبات .

ويجب أن نضع فى الأعتبار الأختلافات الشديدة فى خواص التربة مع العمق فنجد مثلا أن كمية المادة العضوية وحجم وترتيب الحبيبات تتغير تغيرا ملحوظا مع العمق . وهذا بالتالى ينعكس على حجم الفراغات البينيه مما يؤثر على نسب الماء والمحلول تبعا لظروف المناخ واستخدامات التربة ولكى نقيم التربة كوسط لاستقبال مخلفات الصرف يجب وبالضرورة تحديد الأختلافات فى خواص الأتربه المختلفة . ويوضح الشكل(2-4) ثلاث قطاعات لأتربة مختلفة لعمق ١,٢٠ متر تقريبا وتمثل هذه القطاعات من أعلى إلى أسفل خواص الأتربه الصالحة لنظم الرشح السريع (rapid infiltration) ، الرى irrigation ، الغمر بالترتيب .



شكل (4-8) : رسم تخطيطى يوضح قطاع ثلاثة أراضى ذات صفات مختلفة وهذه الأراضى من أعلى إلى أسفل تمثل صفات التربه الملائمة لطريقة إضافة ماء الصرف الصحى للتربه وهى بالترتيب : نظم الرشح السريع **rapid infiltration** ، الرى **irrigation** ، الغمر **overland flow** .

الخواص الفيزيائية للأراضى :

تلعب نسب الأحجام المختلفة للحبيبات غير العضوية (المعدنية) دورا هاما فى تحديد الخواص الفيزيائية للأراضى بما فى ذلك حركة الماء والهواء فيها لذلك فإن الخواص الفيزيائية للأراضى تعتبر غاية فى الأهمية عند تقويم معدل إضافة الملوثات إلى التربة .

وسوف نتناول بالشرح والتحليل الخواص الفيزيائية الهامة للأراضى مثل قوام الأرض Soil texture وبناء الأرض Soil structure والنفاذية وحركة الماء فى الأرض لما لهذه الخواص من أهمية كبيرة فى تحديد معدل إضافة الملوثات وقدرة التربة على استيعابها .

أ. قوام التربة Soil Texture

ينتج من التجويه الكيميائية والفيزيائية للصخور والمعادن حبيبات مختلفة الأحجام تتراوح من حبيبات كبيرة مثل الأحجار والحصى والرمل والسلت إلى حبيات صغيرة جدا مثل حبيبات الطين ,

لذلك فإن التوزيع الحجمى للحبيبات هو الذى يحدد مدى نعومة أو خشونة الأرض أو بمعنى آخر قوام الأرض ويعرف قوام التربه تحديدا بأنه نسب الرمل والسلت والطين فى الأرض .

ولدراسة قوام الأرض يجب فصل حبيبات التربه المختلفة إلى مجموعات تبعا لأحجامهم وتقدير نسب الحجوم المختلفه للحبيبات فى الأرض وذلك بأستخدام التحليل الحجمى للحبيبات particle size analysis .

ويوجد العديد من التقسيمات الهدف منها تقسيم حبيبات الأرض الفرديه إلى مجاميع على أساس قطر الحبيبه الكرويه فقط بغض النظر عن التركيب

الكيميائى والمعدنى للحبيبات . ويوضح الجدول رقم (2-2) أقطـــار وخـــواص المجاميع المختلفه من حبيبات الأرض الفرديه تبعا لتقسيمين شائعين .

وبالنظر إلى الجدول يمكن تحديد المجـــاميع المختلفـــه لحبيبـــات الأرض الفرديه إلى ثلاث مجاميع رئيسيه هى :

١. الرمل Sand

وتتراوح قطر حبيبات الرمل من 0.02 mm - 2 تبعا للتقســـيم الدولـــى . ويكون الرمل هيكل التربه ويعطيها خاصية الثبات عند أختلاط الرمل بالحبيبات الأصغر حجما مثل السلت والطين . ونتيجة لأن حبيبات الرمل النقى لاتلتصـق ببعضها فإنها تكون عرضه للإنجراف بسهوله بواسطة الماء والرياح . والمعدن السائد فى الرمل هو الكوارتز وذلك لأن الكوارتز أكثر معادن الصخور مقاومة لعوامل التجوية المختلفة . ونتيجة لسيادة معدن الكوارتز فى الرمل فإن قـــدرة الرمل على إمداد النبات بالعناصر الغذائية تكون ضعيفه جدا شكل رقم (2- 5).

جدول (2-2) : خواص المجاميع المختلفه لحبيبات الأرض الفرديه .

المجموعه	القطر (١) mm	القطر (٢) mm	(٣) عدد الحبيبات فى الجرام	(٣) مساحة السطح فى واحد جرام cm^2
رمل خشن جدا	2.00-1.00	-	90	11
رمل خشن	1.00-0.50	2.00-0.20	720	23
رمل متوسط	0.50-0.25	-	5,700	45
رمل ناعم	0.25-0.10	0.20-0.02	46,000	91
رمل ناعم جدا	0.10-0.05	-	722,000	227
سلت	0.05-0.002	0.02-0.002	5,776,000	454
طين	أقل من 0.002	أقل من 0.002	90,260,853,000	8,000,000

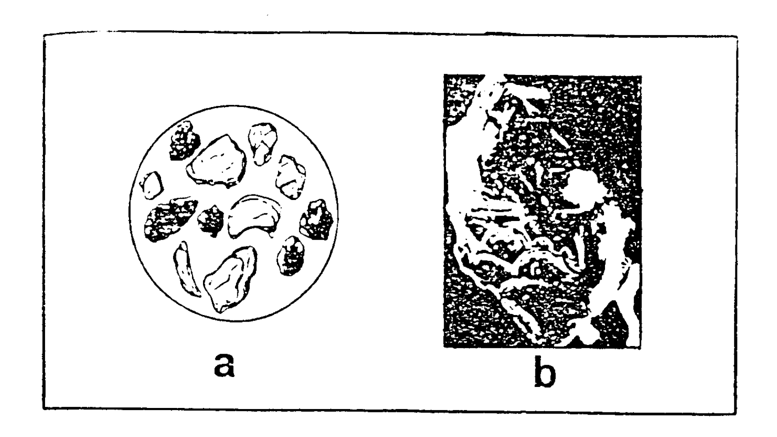
(١) تقسيم ورارة الزراعة الأمريكية .
(٢) تقسيم الجمعيه الدوليه لعلوم الأراضى .
(٣) عدد الحبيبات ومساحة السطح للمجاميع المختلفه تم حسابها بـأفتراض أن الحبيبات كرويه .

٢. السلت Silt

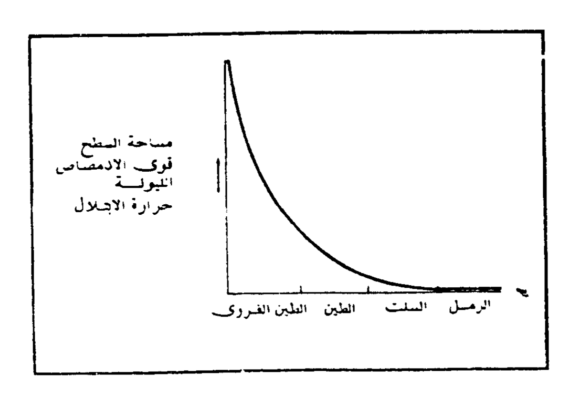
وهو يشبه الرمل إلى حد كبير إلا أنه أصغر حجما حيث يـتراوح قطـر حبيبات السلت تبعا للتقسيم الدولى من 0.002-0.02 وأيضا يعتبر الكوارتز هـو المعدن السائد فى السلت وعادة ما يوجد حول حبيبات السلت غشاء رقيق مـن الطين يكسبها بعض الخواص ولكن بدرجة ضعيفه مثـل خاصيـة الألتصـاق والإدمصاص .

٣. الطين Clay

هو حبيبات رقيقه جدا ذات قطر أقل من 0.002 mm وتختلف كليـة فـى تركيبها عن الرمل والسلت ونتيجة لصغر حجم حبيبات الطين فـإن مسـاحة السطح بها كبيرة جدا بالمقارنة بحبيبات الرمل والسلت جدول رقم (2-2) . ولما كانت معظم الخواص الفيزيـائية مثل الإلتصـاق والتمدد وإدمصاص المـاء والعناصـر الغـذائية تتوقـف إلى حد كبير على مساحة السطح فـإن كـبر مساحة سطح حبيبات الصين هو الدى يحدد خواص التربه (شكل 2- 6) .



شكل رقم (2-5) : حبيبات الرمل فى الأرض . ويلاحظ عدم أنتظام شكل وحجم الحبيبات الرمل (a) وسيادة معدن الكوارتز كما هو واضح فى صورة حبيبه الرمل تحت الميكروسكوب الإلكترونى (b) .



شكل(2-6) : يوضح العلاقة بين نعومة حبيبات الأرض (كبر مساحة السطح) والخواص الفيزيائية مثل الإدمصاص والتمدد وغيرها .

أنواع قوام التربه

لتحديد نوع قوام التربه تم التعرف على ثلاث مجموعات رئيسيه لقوام التربه هى الرمل Sand ، الطين Clay ، اللوم Loams ويندرج تحت هذه المجموعات الرئيسيه عدة أنواع لقوام التربه كما هو موضح فى جدول رقم (3-2) .

مجموعة الرمل Sands

وتشمل مجموعة الرمل الأراضى التى تحتوى على 70% فأكثر حبيبات رمل فرديه، 15% أو أقل حبيبات طين من وزن الجزء الصلب وتحت هذه المجموعه تم التعرف على نوعين من قوام التربه هما قوام رملى Sand ، قوام رملى لومى Loamy Sand وأراضى هذه المجموعة سهلة الحرث جيدة التهويه ذات سطح نوعى صغير ، سريعة الإبتلال وقليلة الاحتفاظ بالماء .

مجموعة الطين Clays

ويندرج تحت هذه المجموعة الأراضى التى تحتوى على 40% فأكثر حبيبات طين فرديه Clay من وزن الجزء الصلب ولذلك فإن أراضى هذه المجموعه يسود فيها صفات الطين . وأنواع قوام التربه التى تم التعرف عليها تحت هذه المجموعه هى :

قوام طينى Clay ، Sandy Clay ، Silty Clay وأراضى هذه المجموعة (القوام الناعم) ذات سطح نوعى كبير، بطيئة الابتلال ذات قدره عاليه على الإحتفاظ بالماء والعناصر الغذائية وصعبة الحرث .

مجموعة اللوم Loams

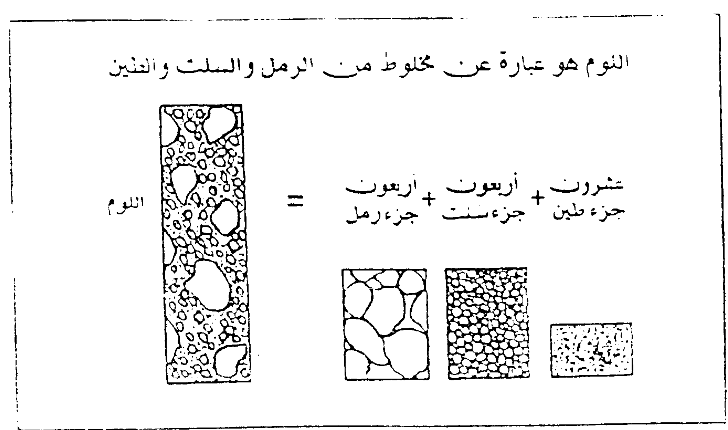
وتعتبر هذه المجموعة من أكثر المجموعات تعقيدا حيث تحتـــــوى علـــى العديد من أنواع قوام التربه. ويعرف اللوم loam بأنه مخلوط حبيبات الرمـــل والسلت والطين الذى تظهر فيه خواص هذه المكونـــات الثلاثـــة بدرجـــه متساويـــة (شكل 2-7) .

وأغلب الأراضى الهامه فى الإنتاج الزراعى تكون من النوع اللومى loam وقد تم التعرف على العديد من أنواع قوام التربه التـــى تنـــدرج تحـــت هـــذه المجموعه ويتم تسميتها تبعا لنسب الرمل والسلت والطين فمثلا الأرض اللوميه التى يكون فيها الرمل هو المكون السائد يكون قوامها sandy loam وهكـــذا .. ويندرج تحت هذه المجموعه أنواع القوام التاليه :

Sandy loam, loam, silt loam, silt,

Sandy clay loam, silty clay loam, clay loam.

وأراضى مجموعة اللوم تعد أفضل من الرملية من حيث أحتفاظها بالمـــاء والعناصر الغذائية ، أفضل من الطينيه من حيث التهويـــه وســـهولة الحـــرث والصرف .



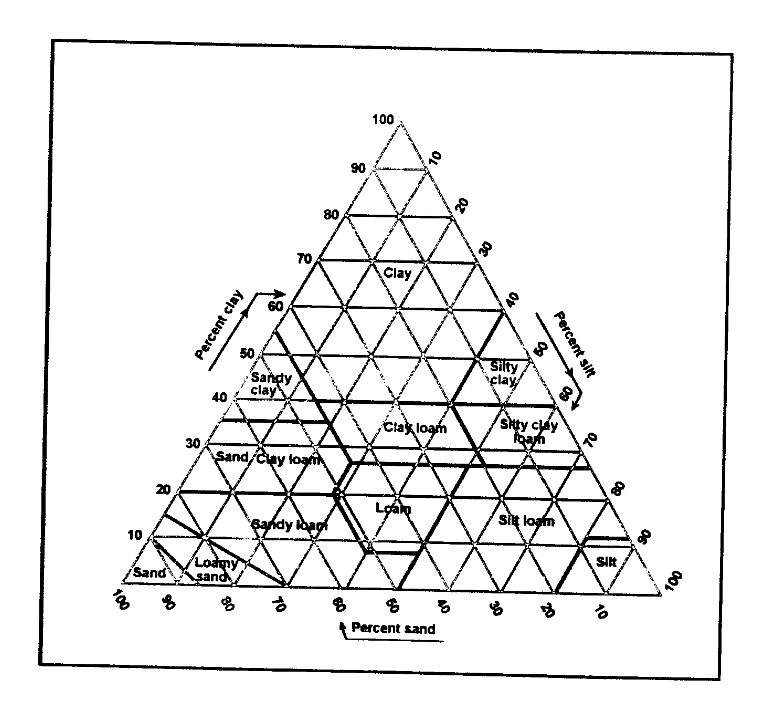
شكل (2-7) : اللوم وهو مخلوط من الرمل والسلت والطين

جدول (2-3) : التعبيرات المستخدمة لوصف قوام الأرض

التعبير العام		الأسم المستخدم لتحديد نوع قوام التربه
الأسم الشائع	القوام	
أراضى رمليه Sandy soils	خشن	Sands Loamy sands
أراضى لوميه Loamy soils	متوسط	Sandy loam Loam Silt loam Silt Sandy clay loam Silty clay loam Clay loam
أراضى طينيه Clayey soils	ناعم	Sandy clay Silty clay Clay

تحديد نوع قوام التربه Determination of soil texture class

طورت وزارة الزراعة الأمريكية طريقه لتحديد نوع قوام الرتبـــه تعتمـد أساسا على نتائج التحليل الحجمى للحبيبات particle size analysis التـــى تـم ذكرها سابقا وذلك بأستخدام ما يسمى بمثلث القـــوام textural triangle (شكل رقم 2-8) وهو عبارة عن مثلث متساوى الأضلاع مقسم من الداخـــل إلـــى 12 قسما وكل قسم يمثل نوع من أنواع قوام التربه التى تم التعرف عليـــها ســـابقا والموضحه بالجدول رقم (2-3) ويلاحظ أن الخطوط الغامقـــه داخـــل المثلـــث توضح حدود كل نوع . ومجموع النسب المئويه للرمل والطين والسلت عند أى نقطه داخل المثلث هى 100 . ولتوضيح كيفيه استخدام مثلث القوام لتحديد نوع قوام التربه سوف نفترض أن التحليل الحجمى للحبيبات لأرض مـــا كـــانت 15% clay, 20% silt, 65% sand فلتوقيع النسب السابقه على مثلث القوام يجـب عمل التالى :



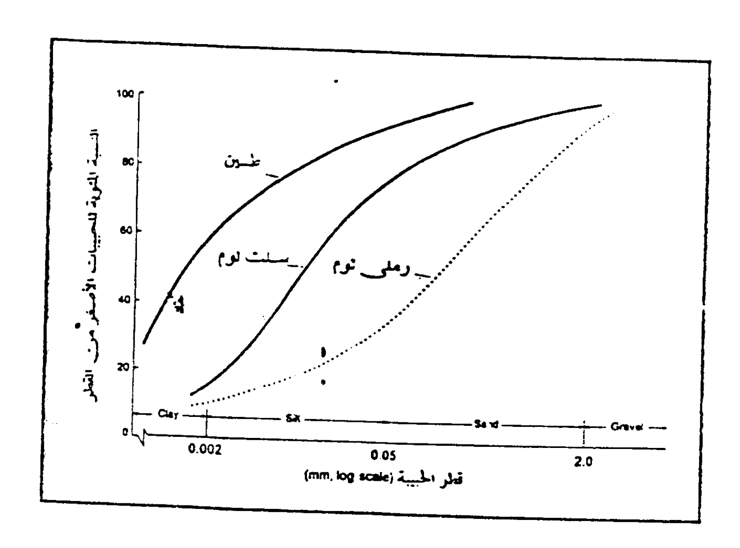
شكل (8-2) : مثلث القوام Texture Triangle المستخدم فى تحديد قوام التربه.

أ . حدد نسب الرمل (65%) على ضلع المثلث الذى يمثل الرمل Sand وأرسم خطا فى الإتجاه الذى يشير اليه السهم .

ب. حدد نسبة الطين (15%) على ضلع المثلث الذى يمثل الطين clay وأرسم خطا فى الأتجاه الذى يشير اليه السهم على هذا الضلع .

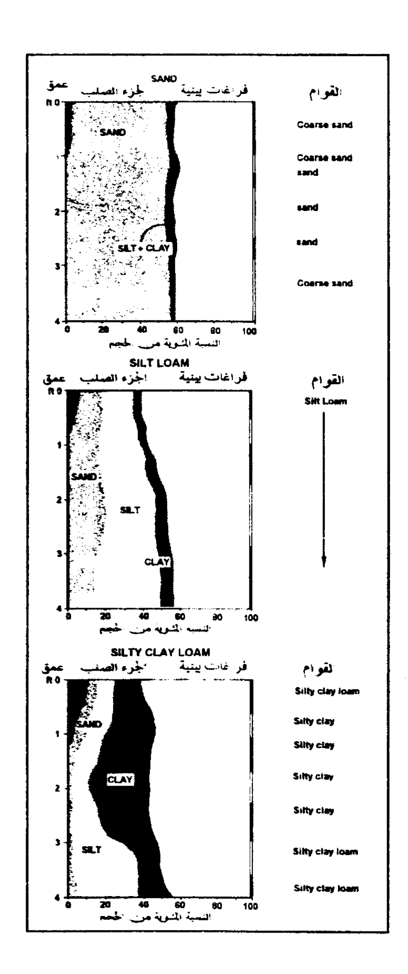
ج. سوف يتقاطع الخطين فى نقطة A تقع داخل قسم sandy loam وبالتالى فإن قوام التربه هو sandy loam وعادة ما تحتاج إلى نسبتين فقط لمعرفه قوام التربه .

توضح منحنيات المجموع summation curves بالشكل رقم (2-9) التوزيـــع الحجمى للحبيبات للأراضى التى تمثل المجاميع الرئيسيه للقوام ويلاحظ التغـير التدريجى لنسب مكونات كل أرض بالنسبة لحجم الحبيبات – مما يدل على عدم وجود تغير تدريجى فى الخواص يتوافق مع التغير التدريجـــــى فـــى توزيـــع الحبيبات .



شكل (2-9) : التوزيع الحجمى للحبيبات فى ثلاثة أراضى مختلفه القوام ويلاحظ التدرج فى توزيع الحبيبات فى جميع الأراضى .

يوضح الشكل رقم (2-10) قوام التربه لقطاعات الأراضى التى تم وصفـــها سابقا فى نظم اضافة مياه الصرف الصحى للأراضى ويلاحظ اختـــلاف قـــوام التربه بأختلاف العمق فى بعض الأراضى .



شكل رقم (2-10) : رسم تخطيطى يوضح الأختلاف فى القوام فى بعض قطاعات الأتربه

ب . بناء التربه Soil Structure

يعرف بناء التربه بأنه "نظام ترتيب الحبيبات فى التربه" ويصف ترتيب الحبيبات الفرديه فى شكل مجموعات ثانوية تسمى الحبيبات المركبه aggregates وقد يسود نوع واحد من البناء فى قطاع التربه أو قد يتكون عدة أنواع من البناء فى القطاع بأختلاف الآفاق ويؤثر بناء التربه على العديد من خواصها مثل حركة المياه فيها والتهوية والمساميه .

بناء التربه يتحدد تبعا لدرجة تكوين وشكل الحبيبات المركبه

أنواع بناء التربه :

يتحدد نوع بناء التربه تبعا لشكل الحبيبات المركبه السائد فى الأفق ويوجد أربع أنواع رئيسية للبناء (شكل رقم 2-11) :

أ . البناء المستدير Spheroidal

وفيه تكون شكل الحبيبات المركبة مستدير وتكون الحبيبات المركبة فيه بعيدة عن بعضها وتنقسم إلى :

أ - بناء حبيبى granular وتكون فيه الحبيبات المركبة غير مسامية .
ب- بناء مفتت crumb وتكون فيه الحبيبات المركبة مسامية .

ويسود البناء الحبيبى والمفتت فى الأفاق السطحية ذات المحتوى العالى من المادة العضوية .

ب. البناء الكتلى Block structure

وفى هذا البناء تكون الحبيبات المركبه على شكل مكعبات blocks ذات أوجه سداسيه غير منتظمه وأبعادها الثلاثه متساويه ويتراوح سمك

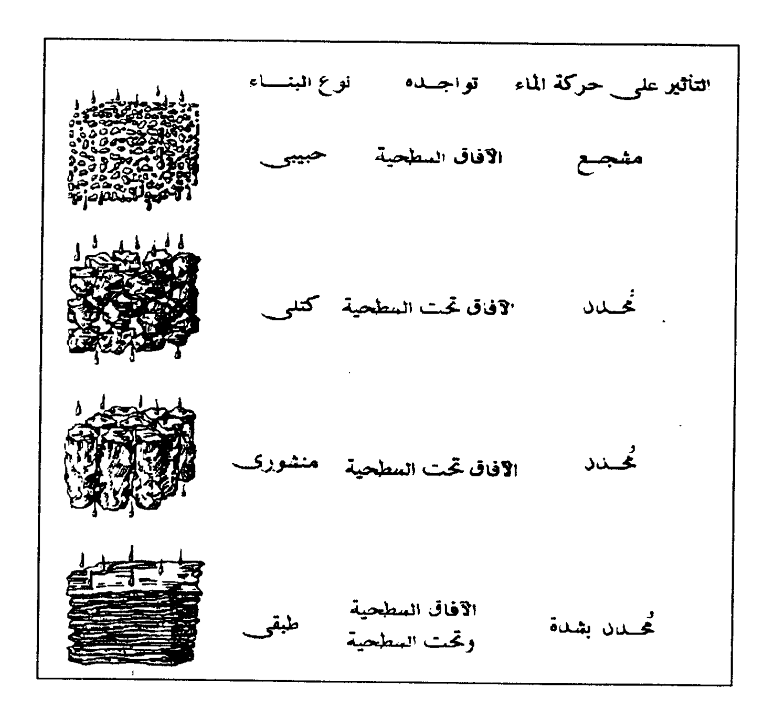
المكعبات من 1-10 cm وبوجه عام فإن البناء الكتلى غالبا ما يتواجد فى الآفـاق تحت السطحية ويرتبط درجة تطور هذا البناء إرتباطا وثيقا بالصرف والتهوية.

ج. البناء المنشورى Prismatic structure

فى هذا البناء تكون الحبيبات المركبه موجهه رأسيا أى أنها تكـــون علـــى شكل أعمدة تختلف فى أطوالها من تربه إلى أخرى وقد يصل قطـــر الحبيبـــه المركبه إلى 15 cm أو أكثر ويسود هذا النوع من البناء فـــى الأفـــاق تحـــت السطحية لأراضى المناطق الجافة وشبه الجافة .

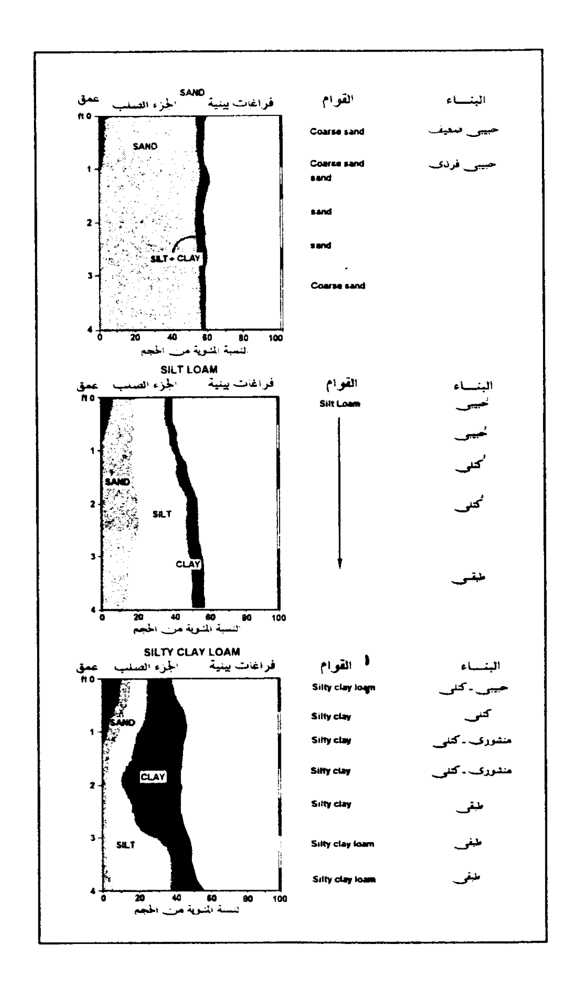
د. البناء الطبقى Platy structure

والحبيبات المركبه فى هذا البناء تترتب أفقيا على شكل طبقات رقيقة أى أن نمو الحبيبة يكون فى الأتجاه الأفقى . ويتواجد هذا البناء غالبـــا فـــى الأفـــاق السطحية أو غير السطحية .



شكل رقم (2-11) : أنواع وأشكال بناء التربه الشائعة وتأثيرها على حركة انتقال الماء خلال التربه .

قد يسود نوع واحد من البناء فى قطاع التربه وأيضا قد يوجد عدة أنواع من البناء فى قطاع واحد تختلف بأختلاف العمق وهذا يتوقف على قوام التربه ومحتوى المادة العضوية . ويوضح الشكل رقم (2-12) الأختلاف فى بناء التربه بأختلاف العمق لثلاث قطاعات تربه مختلفة .



شكل رقم (2-12) : يوضح الأختلافات فى بناء التربه باختلاف العمـــق لبعـض قطاعـات التربه .

يلاحظ من الشكل السابق وجود البناء الحبيبى فى الطبقات السطحية للثلاثة قطاعات حيث يتكون البناء الحبيبى نتيجة وجود المادة العضوية وهذا البناء يعتبر أفضل أنواع البناء المرغوبه فى المواقع التى تستخدم لمعالجة المخلفات حيث أن البناء الحبيبى هو البناء المثالى فى علاقات الماء والهواء ويمكن الحفاظ على هذا البناء أو هدمه تبعا لطريقة ادارة التربه .

لا يفضل استخدام الأتربه ذات البناء الكتلى أو البناء المنشورى كمواقع للتخلص من مخلفات الصرف الصحى وذلك لأن هذين البناءين يتأثران بالرطوبة ويتمدد الطين ويكون طبقة غير منفذة .

البناء الحبيبى هو البناء المفضل عند استخدام التربه كمستقبل للملوثات

مسامية التربه Soil Porosity

تترتب حبيبات التربه الصلبه بطريقة تسمح بوجود فراغات بين الحبيبات وهذه الفراغات تحتوى عادة على الماء والهواء وبوجه عام فإن الفراغات و المسام كبيرة الحجم تحتوى على هواء إذا لم تكن التربه مغموره بالماء أما الفراغات صغيرة الحجم فتحتوى على ماء إذا لم تكن الأرض جافه أما المسام متوسطة الحجم فيختلف محتواها من الماء والهواء تبعا لرطوبة وجفاف التربه.

ونسبة المسام فى الأراضى خشنة القوام (الرملية) أقل بكثير من نسبة المسام فى الأراضى الناعمة ومع ذلك نلاحظ سهولة حركة الماء والهواء فى الأراضى الرملية عنها فى الأراضى الناعمه ويرجع ذلك إلى كبر حجم المسام فى الأراضى الرملية عنها فى الأراضى الطينيه (الناعمه) وتختلف النسب المئويه للمسام فى الأراضى اختلافا كبيرا ففى الأراضى الرملية تتراوح بين 35 – 50% بينما فى الأراضى المتوسطة والناعمة القوام تتراوح بين 40–60%.

ويوجد نوعين من المسام في التربه هما :

- مسام كبيرة macro pores وهى المسام ذات القطر الأكبر من 0.06 mm .
- مسام صغيرة micro pores وهى المسام ذات القطر الأصغر من 0.06 mm

وتسمح المسام كبيرة الحجم بحركة الماء والهواء فى التربه بينما نجـــد أن المسام صغيرة الحجم عادة ما تكون مملوءة بالماء فى الأرض الرطبه بدرجة لا

تسمح بمرور الهواء من وإلى التربه ولذلك فبالرغم من أن احتـواء الأرض الرملية على نسبة مسام قليلة فإن حركة الماء والهواء بها تكون سريعة نتيجـــة لسيادة المسام كبيرة الحجم بها وعلى العكس من ذلك فإن الأراضـــــى ناعمـــة القوام ذات البناء الحبيبى تكون حركة الماء والهواء بها ضعيفة بالرغم من كبير المساميه الكلية بها وذلك لسيادة المسام صغيرة الحجم بها والتى غالبا ما تكـون مملؤة الماء ويتضح مما سبق أن قطر المسام أكثر أهمية من المساميه الكلية فى تحديد حركة الماء والهواء فى التربه .

نفاذية التربه وحركة الماء

نفاذية التربه (خاصية تتحدد طبقا للمسامية) تعزى إلى سهولة إنتقال المـــاء والهواء خلال التربه فحجم المسام هو الذى يحدد النفاذية وبالتالى سهولة انتقـال الماء والهواء خلال التربه .

ويتم التعبير كميا عن النفاذية وذلك بحساب معدل دخول الماء والذى يعرف بمعدل التسرب Infiltration rate (I) ويعرف بأنه حجم المـــاء الـــذى يتســـرب (يتدفق) إلى قطاع التربه خلال وحدة المساحة (A) من سطح التربه خلال وحدة الزمن (t) .

$$I = Q / At$$

$$= cm^3 / cm^2 \ min = cm / min$$

ويمكن النظر إليه على أنه عمق الماء cm (d) المتخلل لسطح التربـــه فـــى وحدة الزمن (دقيقة) ويتوقف هذا المعدل على خواص التربه مثل القوام والبنـاء والمحتوى الرطوبى الابتدائى لها .

ولقد تم تصنيف النفاذيه للأتربه بواسطة هيئة حصر الأراضى الأمريكيـــه إلى أقسام Classes تبعا لمعدل دخول الماء فى هذه الأراضى ويوضح الجـدول التالى تقسيم النفاذيه فى الأراضى .

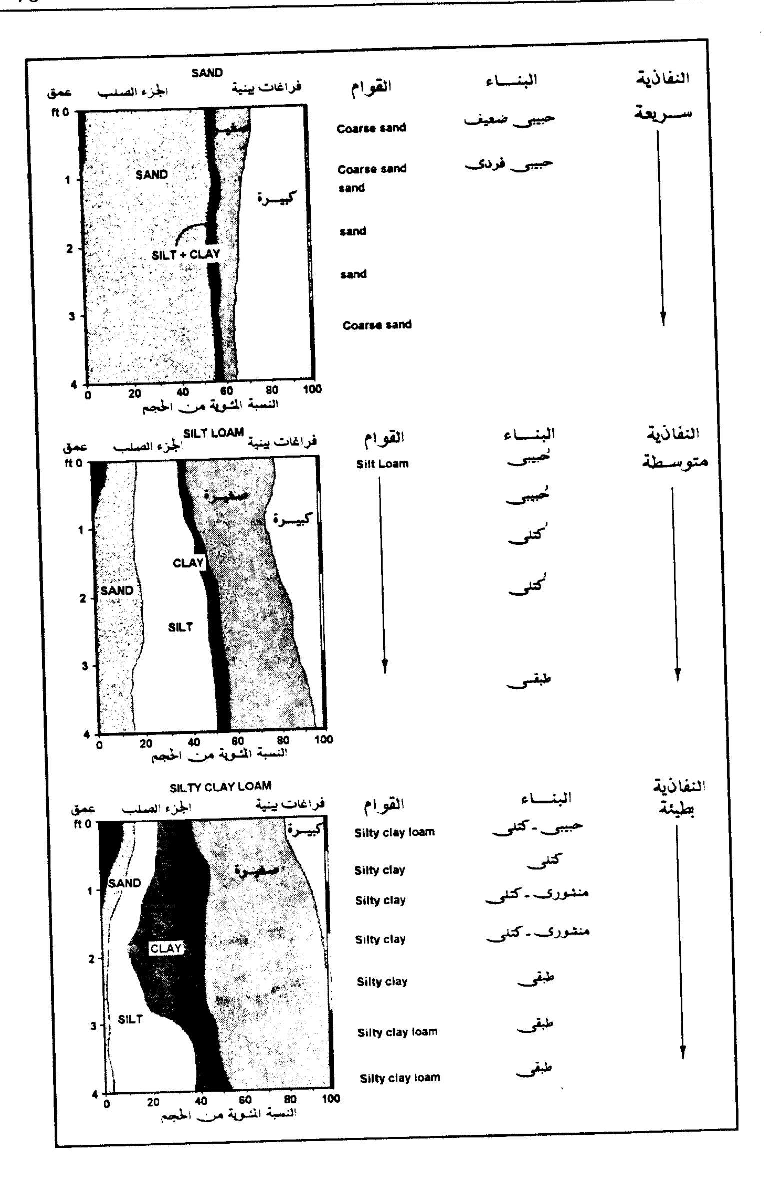
نفاذية التربه (cm/hr)	النوع
0.15 >	بطيئة جدا
0.15 - 0.5	بطيئة
0.5 – 1.5	بطيئة نوعا
1.5 – 5	معتدله
5 – 15	شديدة الاعتدال
15 – 50	سريعة
50 <	سريعة جدا

Source : USDA, Soil Conservation Service

وبوجه عام فإن الأتربه ناعمة القوام تكون ذات نفاذية بطيئة جدا أو بطيئـة بينما تكون الأتربه خشنة القوام ذات نفاذية سريعة وبالرجوع إلى الشكل السابق رقم (2-12) نجد أن الرمل الخشن يمتلك أقل مسامية كلية بينما القـوام النـاعم silty clay loam يمتلك أكبر مسامية . وهذا يثبت أن النفاذية هى دالـه لحجـم المسام وليست للنسبة المئوية للمسام .

الأتربه خشنة القوام تكون ذات نفاذية عالية بينما الأتربه ناعمة القـوام تكون ذات نفاذية بطيئة .

ويوضح الشكل رقم (2-13) النسب المئويه للمسام الكبيرة والمسام الصغيرة فى قطاعات الأراضى فنجد سيادة المسام الكبيرة فى الرمل الخشن على الرغـم من قلة المسامية الكلية وهذا بالتالى يؤدى إلى سرعة حركة الماء والنفاذية فـى حين أن التربه الناعمه Silty clay loam تحتوى على أقل نسبة مســـام كبـيره وبالتالى فإن النفاذية فيها تكون بطيئة .



شكل (2-13) : يوضح الأختلافات فى نسب توزيع الفراغات الصغرى والكبرى وتأثير ذلـك على النفاذيه

معدل التسرب والنفاذية وحركة الماء فى القطاع الأرضى :

يوجد علاقة وثيقة بين النفاذية ومعدل تسرب الماء الذى سبق تعريفه بأنـــه المعدل الذى يخترق به الماء سطح التربه معبرا عنه بالسم/ســـاعة . ويتـأثر معدل التسرب بالنفاذية والمحتوى الرطوبى فى التربه . فعندما تكــون التربــه جافه فإن المسام تكون مملوءة بالهواء فعند إضافة الماء إلى التربه يحـل محـل الهواء تدريجيا ويملأ الفراغات البينيه . ويتناقص معدل تسرب الماء كلمـا زاد إضافة الماء حتى يصل إلى معدل ثابت . وعندما تصل التربــه إلــى مرحلــة التشبع يصبح معدل التسرب الثابت مساويا نفاذية الأفق الذى له أقـــل نفاذيــة بالنسبة للآفاق الأخرى فى القطاع الأرضى واستمرار إضافة الماء بمعدل يزيد عن معدل التسرب سوف يؤدى بعد ذلك إلى الجريان السطحى للمـــاء . وفـــى حالة وجود ميل فى التربه فإن الماء المضاف يتحرك أفقيا عندما يصـــل إلـــى الطبقة ذات النفاذية الأقل ولذلك يمكن القول أن معدل التسرب يعتمد اعتمـــادا وثيقا على نفاذية الطبقات (الآفـــاق) فـــى القطـــاع الأرضـــى وكذلـــك علـــى الطبوغرافيا.

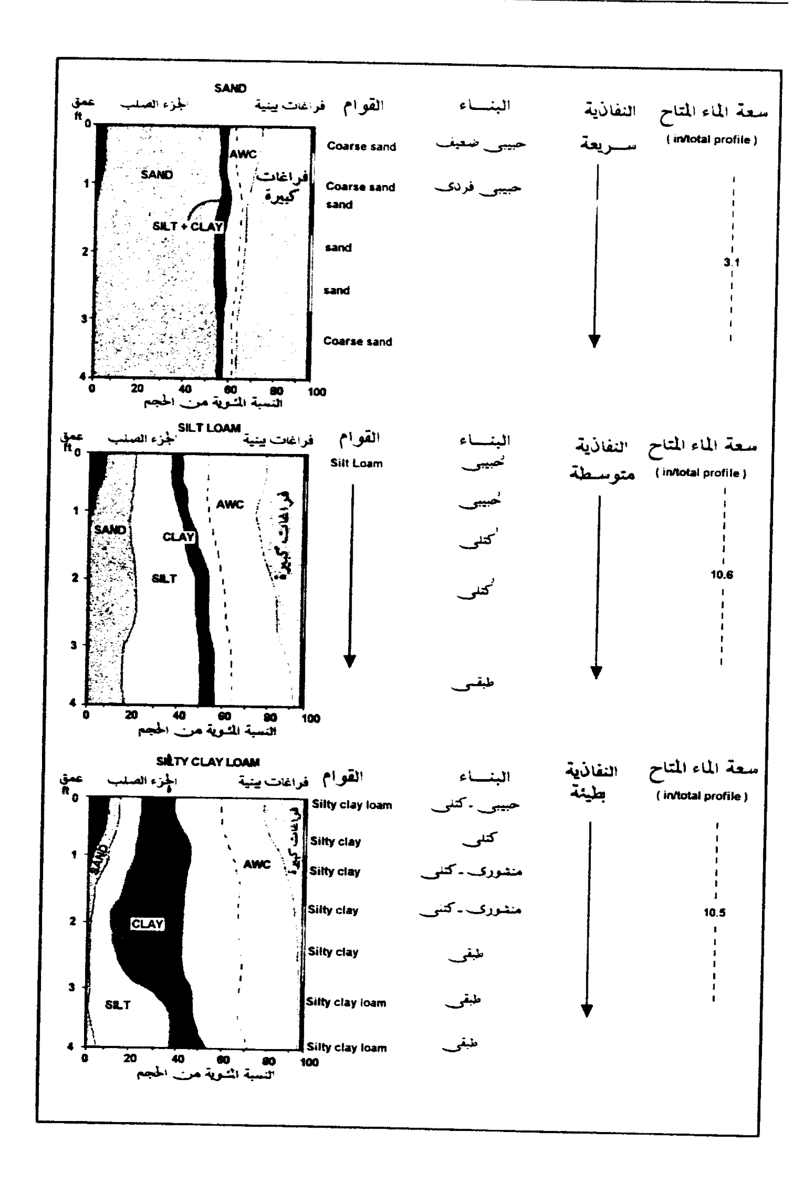
يتوقف معدل التسرب علـــى النفاذيـــة ، المحتـــوى الرطوبـــى للتربـــه والطبوغرافيا.

الماء المتاح (الميسر) Available water

لتوضيح معنى الماء الميسر (المتاح) نفترض أن التربه تم تشبيعها بالمـــاء نتيجة الرى بمياه الصرف الصحى فعندما يتوقف إضافة الماء إلى التربه يحدث صرف للماء الموجود فى المسام الكبيرة إلى أسفل بواسطة الجاذبية الأرضـــى فى خلال يومين (٤٨ ساعة) ويطلق على الرطوبه الأرضيه فى هذه الحاله اسم السعة الحقلية field capacity عند السعة الحقلية يكون الماء الموجود فى المسام الكبيرة macro pores قد تم التخلص منه وحل محله الهواء اما المسام الصغيرة

micro pores تكون مملوءة بالماء اللازم لمد النبات بإحتياجاته المائيه يمتص النبات إحتياجاته المائيه من الأرض عند السعة الحقلية ويفقد جزء كبير من هذا الماء الممتص عن طريق النتح transpiration كما يفقد جزء كبير من ماء الأرض عن طريق البخر evaporation . وعند جفاف الأرض يبدأ النبات فى الذبول صباحاً للاحتفاظ بالرطوبه ويستعيد حيويته مساءاً وتدريجيا يحدث ذبول للنبات صباحاً ومساءاً أى يصبح فى حالة ذبول دائم ويطلق على المحتوى الرطوبى للتربه عندما يكون النبات فى حالة ذبول دائم بإسم معامل الذبول أو نقطة الذبول المستديم permanent wilting point .

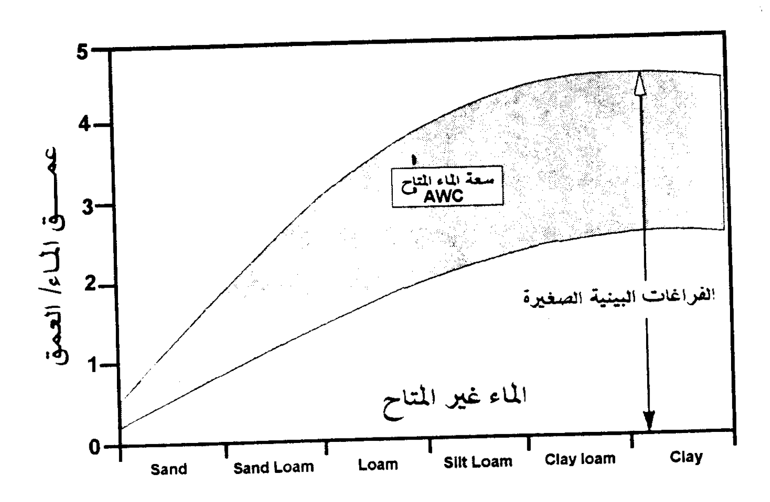
ويطلق على الماء الممسوك فى التربه بين السعة الحقلية ونقطة الذبول المستديم إسم الماء المتاح (الميسر) وهو الماء الذى يمكن استخدامه بواسطة النبات .



شكل (2-14) : يوضح الأختلافات فى سعة الماء المتاح بين عدة قطاعات تربه

وتختلف سعة الماء الحر فى الأتربه بإختلاف نسبة المسام الصغـــيرة فـــى التربه التى تعتمد بدورها على القوام والبناء ونسبة المادة العضوية فى التربـــه (شكل رقم 2-14) . فمن الشكل نجد أن الرمل الخشن coarse sand له أقل ســعة ماء متاح وذلك لأن نسبة المسام الصغرى فيه صغيرة فى حين أن التربـه silty clay loam تكون لها أكبر سعة ماء متاح وذلك لكبر نسبة المسام الصغرى فيها ويوضح الشكل رقم (2-15) العلاقة بين الماء المتاح ونسبة المسام الصغرى فى التربه .

سعة التربه من الماء المتاح (الميسر) يتوقــف علـــى نســبة الفراغــات الصغرى فى التربه والتى منها يستخلص النبات إحتياجاته المائيه .



شكل (2-15) : يوضح العلاقة بين الفراغات الصغرى والماء المتاح وقوام التربه

وكما أن الماء المتاح هاما بالنسبة لنمو النبات فإن الماء المتاح يعتبر ايضا هاما بالنسبة لكفاءة نظم إضافات مياه الصرف الصحى . فتفاعل وبالتالى معالجة المخلفات الموجودة فى مياه الصرف الصحى مع التربه يتوقف على فترة بقاء الماء فى التربه . وتعتبر سعة التربه من الماء المتاح بالضرورة مقياس لمقدرة التربه على تخزين الماء التى بدورها تعكس كمية مياه الصرف الصحى التى يجب إضافتها للأرض الجافه بدون أن تفقد مباشرة إلى الماء الجوفى . وامتصاص النبات للماء يؤدى إلى استمرار تناقص الماء المتاح خلال فترة النمو وبالتالى يسمح بإضافة كميات متزايده من مياه الصرف الصحى ويتوقف تناقص الماء الحر خلال فترة نمو النبات على المناخ ونوع النباتات النامية .

سعة التربه من الماء المتاح (الميسر) تعبر بالضرورة عن السعة التخزينيه للتربه من الماء . وكلما كانت التربه ذات سعة تخزينيه عاليه كلما زادت فترة بقاء مكونات مياه الصرف الصحى فى التربه مما يضمن معالجتها .

السعة التبادليه الكاتيونيه Cation Exchange Capacity

غرويات التربه هى التى تحدد الخواص الكيميائيه للتربه ، ويعرف الغروى Colloid بأنه أى مادة صلبة ذات حجم صغير جدا ولذلك فأن خواص السطوح بها تكون أكثر أهمية من وزنها وأغلب الغرويات لا تتعدى أقطارها بضعة ميكرومترات . ونظرا لكبر مساحة سطح الغروى نجد أن العديد من التفاعلات الكيميائيه تحدث على سطوحها وهذه التفاعلات هى التى تحدد الخواص الكيميائيه للتربه وغرويات التربه السائده تنحصر فى معادن الطين والدبال . ويتميز كلا من الطين والدبال بنشاط ديناميكى كبير نظرا لصغر أحجامها (< 0.002 mm) وبالتالى كبر السطح النوعى وايضا لامتلاك الطين والدبال شحنات سطحية قادرة على جذب الأيونات الموجبة والسالبة الشحنة وكذلك الماء . ولذلك فإن الطين والدبال يؤثران على الخواص الكيميائيه للتربه بدرجة أكبر

من الرمل والسلت فبالنسبة للرمل الخشن يتراوح السطح النوعى له بين 10 - 50 cm^2/g بينما السطح النوعى للطين قد يزيد عن 10.000 cm^2/g ونتيجة لوجود الشحنات على سطوح الغرويات نجد أنها لها المقدرة على جذب الأيونات والمركبات الذائبه فى مياه الصرف الصحى .

والتبادل الذى يحدث بين كاتيون فى المحلول وكاتيون آخر موجود على سطح غرويات التربه يعرف باسم التبادل الكاتيونى Cation exchange . وتعرف السعة التبادليه الكاتيونيه للتربه بأنها كمية الكاتيونات المتبادلة على وحدة وزن من التربة معبرا عنها بالسنتيمول (+) Centimole لكل كيلو جرام تربه ويستخدم تعبير Centimoles لأن عدد مواقع الشحنة السالبة على غرويات التربه لا يتغير بينما وزن العناصر التى تدمص على هذه المواقع تتغير .

وتختلف السعة التبادليه الكاتيونيه من تربه إلى أخرى وذلك يتوقف على كمية ونوع الطين والدبال الموجودة فى هذه الأتربة والسعة التبادليه الكاتيونيه للتربه هى خاصية هامه جدا لأنها تدل على مقدرة التربه على إمتصاص الملوثات الموجودة فى مياه الصرف الصحى المضافه إلى التربه . فهذه المياه تحتوى على أيونات ومركبات ذائبه وامتصاص وانتقال هذه المكونات خلال التربه يتوقف على السعة التبادليه الكاتيونيه .

إدمصاص وإنتقال الأيونات والمركبات الذائبه فى مياه الصرف الصحى خلال التربه يتوقف على السعة التبادليه الكاتيونيه

ولما كانت الشحنة السائدة على غرويات التربه هى شحنه سالبه فإن أغلب الأيونات التى تنجذب إلى هذه الشحنة تكون أيونات موجبه مثل الأمونيوم والكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم والزنك والنحاس وغيرها . لذلك فإن السعة التبادليه الكاتيونيه (CEC) تعتبر مقياس لمقدرة التربه على الأحتفاظ بالكاتيونات

وبطريقة غير مباشرة فإن السعة التبادليه الكاتيونيه تعتبر دليل تقريبـــى علـــى التفاعلات التى تحدث بين الملوثات ذات الشحنة وسطوح الغرويات وبوجه عام كلما زادت السعة التبادليه الكاتيونيه للتربه كلما زادت مقدرة هذه التربه علـــى معالجة الملوثات .

السعه التبادليه الكاتيونيه هو مقياس تقريبى للتفاعلات التى تحدث بيـن الملوثات ذات الشحنه وغرويات التربه (الطين والدبال) .

ولأن السعة التبادليه الكاتيونيه للتربه تتوقف على كمية ونوع معادن الطيـن وكمية الدبال فيها فإنه من المتوقع أن تختلف السعة التبادليـــه الكاتيونيـــه فـــى القطاع الأرضى تبعا للإختلافات بين الآفاق . ويوضح الشـــكل رقـــم (2-16) الأختلافات فى السعة التبادليه الكاتيونيه فى قطاعات ثلاث أراضى مختلفة .

مما سبق مناقشته يتضح أن الأتربه التى لها معدل تسرب ماء عالى تكـــون أقل قدره على معالجة الملوثات المضافه إلـــى التربـــه لأن الســـعة التبادليـــه الكاتيونيه لهذه الأتربه تكون منخفضة وعلى النقيض من ذلك فإن الأتربـــه ذات القدرة العالية على مسك الملوثات يكون معدل تسرب الماء فيها محددا . لذلـــك فإن نظم التسرب السريع rapid infiltration لا تكون ذات كفاءة عالية من ناحية معالجة الملوثات فى حين أن نظم الغمر على الرغم من أنها تعمل على أراضى ذات سعة تبادليه كاتيونيه عاليه فإن مقدرتها ايضا محدودة نتيجة لضعف معدل التسرب بها مما يقلل من التلامس بين الملوثات وغرويات التربه تحت السطحية أما نظام الرى Irrigation فيعتبر وسط بين النظامين السابقين وربمـــا يكـــون أفضل أنظمة إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى .

الأراضى ذات السعة التبادليه الكاتيونيه العالية تكون ذات مقدرة كبـــيرة على معالجة الملوثات الموجودة فى ميـــاه الصـــرف الصحـــى نتيجـــة للتفاعلات التى تحدث بين الملوثات وغرويات التربه .

ميكانيكيات المعالجة ومقدرة التربه على استيعاب الملوثات :

استخدام التربه كوسيلة لمعالجة المخلفات يعتبر مفهوم حديث حيث جرت العادة منذ القدم على استخدام التربه للتخلص من المخلفات وليس معالجتها . والواقع أن المخلفات لا يتم التخلص منها بإلقائها فى التربه لأن جزء من هذه الملوثات يمر خلال التربه إلى الماء الجوفى وجزء أخر يمتص بواسطة النباتات الناميه فيها وجزء ثالث يتم إحتجازه فى التربه . ولذلك فإن التصميم الصحيح لنظم معالجة المخلفات باستخدام التربه يجب أن يضع فى الاعتبار مقدرة التربه على استيعاب هذه الملوثات بحيث يقلل أو لم يكن يمنع مرور الملوثات خلال قطاع التربه إلى الماء الجوفى .

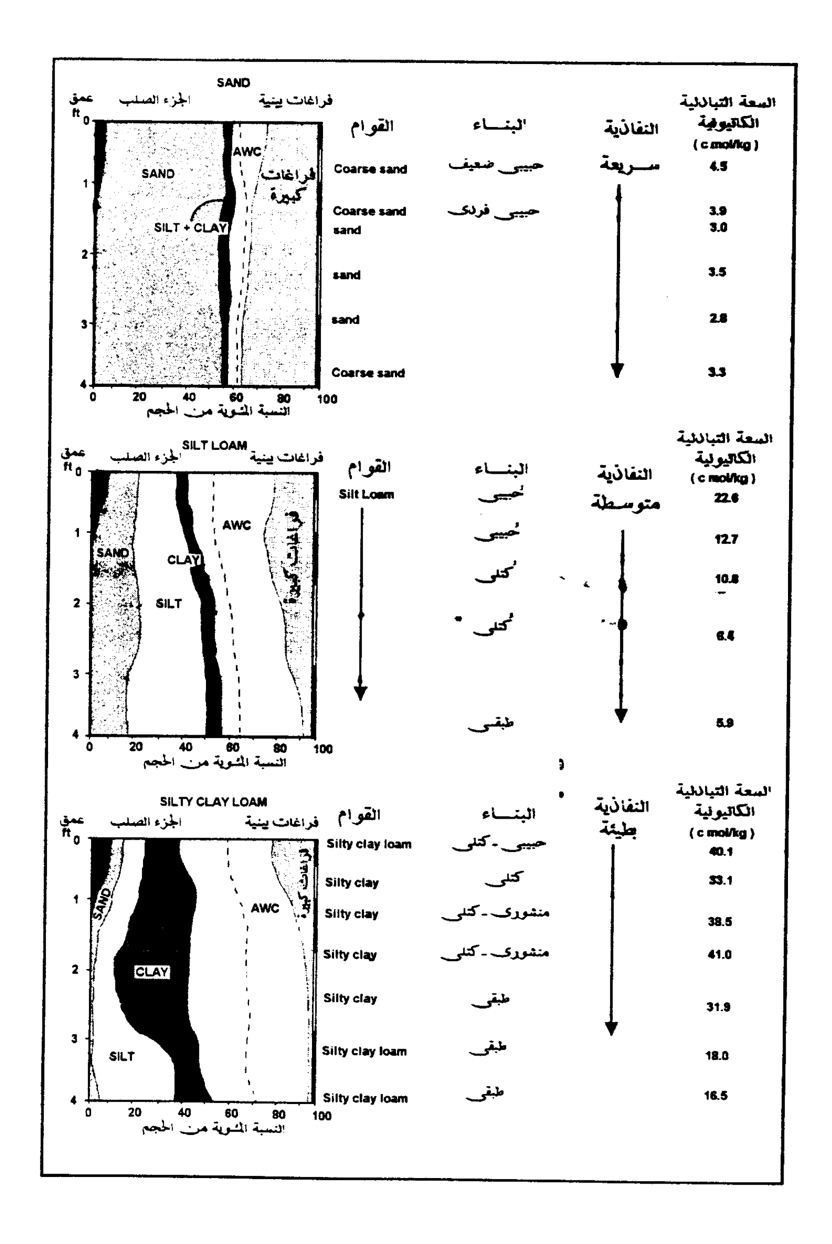
لا يتم التخلص من الملوثات وذلك بإلقائها فى التربه والحقيقة أن جزء من هذه الملوثات يمتص بواسطة النباتات وجزء يمسك بواسطة غرويات التربه وجزء ثالث يمر خلال قطاع التربه إلى الماء الجوفى .

وتقسم ميكانيكيات معالجة الملوثات باستخدام التربه إلى ميكانيكيات فيزيائيه وبيولوجيه وكيميائيه وتحت كل من هذه الميكانيكيات تعمل عدة عمليات تؤدى فى النهاية إلى التخلص من أو تحوير الملوثات .

ميكانيكيات المعالجه

Treatment Mechanisms

فيزيائيه	كيميائيه	بيولوجيه
تسرب الماء	ادمصاص	تحلل الماده العضويه
التخفيف	ترسيب	تحولات غير عضويه
		تخليق مواد جديده



شكل رقم (16-2) : رسم تخطيطى يوضح الأختلافات فى السعة التبادليه الكاتيونيــــه فــى ثلاث قطاعات تربه مختلفة .



الميكانيكيات الفيزيائيه :

١. **<u>الترشيح Filtration</u>**

عند مرور ماء الصرف الصحى خلال التربه فإن المواد الصلبه المعلقه فى الماء يتم حجزها فى التربه عن طريق الترشيح الميكانيكى ويتوقف العمق الذى يحدث عنده حجز لهذه المعلقات على حجم المواد العالقه وقوام التربه ومعدل إضافة مياه الصرف الصحى . فكلما زاد معدل الاستيعاب الهيدروليكى وزادت خشونة التربه كلما زادت المسافه التى يحدث عندها حجز لهذه المعلقات الصلبه ومع ذلك فعند تساوى معدل الاستيعاب الهيدروليكى مع معدل الإضافه يحدث إزاله أكبر للمعلقات نتيجة التصاق المعلقات الصلبه على سطوح حبيبات التربه.

زيادة معدل الأستيعاب الهيدروليكى hydraulic loading rate وزيادة خشونة التربه تؤدى إلى زيادة المسافة والعمق التى يتم عندها حجز المعلقات الصلبه من مياه الصرف الصحى .

الحبيبات العضوية الكبيرة والكائنات الحيه ذات الحجم الكبير مثل البروتوزوا والديدان يمكن حجزها فى التربه بينما تستطيع البكتريا والفيروسات ذات الأحجام الصغيرة أن تمر خلال مسام التربه ولقد أوضحت الدراسات أن الطفيليات الموجودة فى مياه الصرف الصحى يتم حجزها فى التربه حيث أن التربه تعمل كمرشح فتحجز البكتريا فيها بينما تدمص الفيروسات على سطوح حبيبات التربه .

تعمل التربه كمرشح فيتم حجز البكتريا فيها ومنعها من الوصول إلى الماء الجوفى بينما تدمص الفيروسات على سطوح حبيبات التربه .

٢. **<u>التخفيف Dilution</u>**

فى المناطق الرطبه يحدث تخفيف لتركيز الملوثات فى مياه الصرف

الصحى نتيجة إختلاطه بالمياه الجوفيه أو نتيجة سقوط الأمطار أو دوبان الثلوج بينما فى المناطق الجافه يحدث تركيز لهذه الملوثات نتيجة لشدة البخر فى هذه المناطق .

محدودية الميكانيكية الفيزيائيه فى إزالة الملوثات :

يمكن للمواد الصلبه العالقه فى الماء أن تسد مسام التربه وبالتالى تقلل من معدل التسرب الأمر الذى يؤدى إلى حتمية إزالة المواد الصلبه العالقه (SS) من الماء قبل إضافتها للتربه .

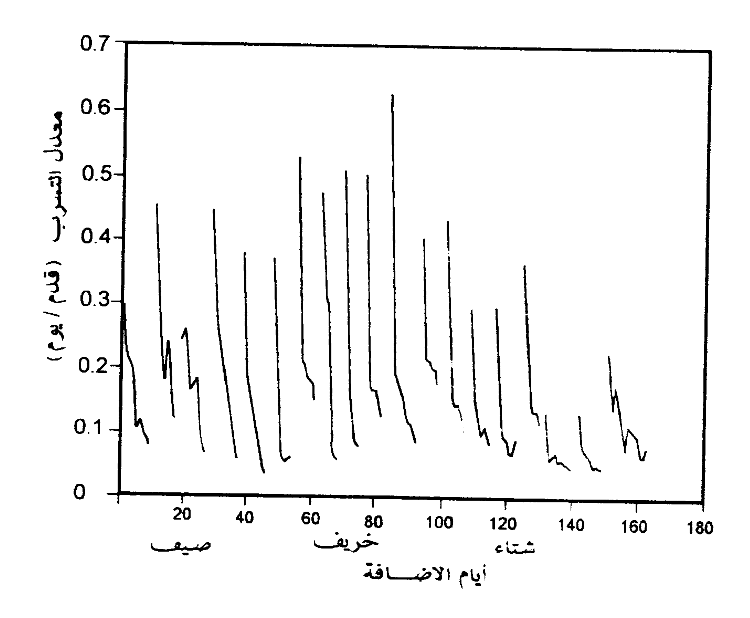
ولقد أوضحت الدراسات التى أجريت على استخدام الرمل كمرشح فى نظم معالجة مياه الصرف الصحى أن مرشحات الرمل لها القدرة على احتجاز المعلقات الصلبه الصغيره فى مياه الصرف الصحى عند مسافة لا تتجاوز بضعة سنتيمترات . وقد تصل مقدرة الرمل على استيعاب المعلقات إلى قيم تعادل 26,000 kg SS/acre-day (فى حالة إضافة ماء صرف صحى يحتوى على 20 mg/l SS) . ونتيجة لكبر حجم ووزن المواد العالقة المحتجزه فإنه من المتوقع أن يحدث تناقص سريع فى التوصيل الهيدروليكى خلال فترة لا تتعدى 24 ساعة أو أقل . ولذلك فإنه ينصح فى نظم إضافة مياه الصرف الصحى إلى التربه أن يعقب إضافة المياه فترات راحه rest periods يتم بها التخلص من المواد العالقة التى تسد المسام عن طريق التحلل الطبيعى لهذه المعلقات فى فترات الراحه .

يتم التخلص من إنسداد المسام بواسطة المواد العالقه عن طريق إعطاء فترات راحة تلى إضافة مياه الصرف الصحى حتى يحدث تحلل لهذه المعلقات .

ولقد أوضحت الدراسات (شكل رقم 2-17) أن إضافة مياه الصرف الصحى بمعدل يعادل 100 kg SS/acre-day لا يسبب أى انسداد للمسام فى

أغلب الأراضى فإذا تم استعمال فترات راحة من 3-2 أيام بين الإضافات فـــإن معدل الإضافه الذى لا يسمح بحدوث غلق للمسام يمكن أن يرتفع إلى 300 kg SS/acre-day ومما سبق يتضح أن جدولة إضافـــة ميـــاه الصـــرف الصحـــى للأراضى وعمل معالجة ابتدائية لمياه الصرف الصحى مثل النخـــل Screening أو الترسيب الابتدائى ربما يكون كافيا لتفادى إنسداد مسام التربه .

يمكن تفادى غلق مسام التربه بواسطة المعلقات الصلبه عـــن طريـــق إجراء معاملة ابتدائية لمياه الصرف الصحى مع إعطاء فترات راحة بين الإضافات .



شكل (17-2) : تأثير فترات الراحه بين أوقات إضافات مياه الصرف الصحـــى علـــى معدل التسرب فى تربه لوميه .

إدمصاص وترسيب الملوثات :

تقوم التفاعلات الكيميائيه بين الأيونات الذائبه والمركبـات وبيـن الجـزء الصلب من التربه على تغيير حركة مكونات الملوثات فبعض المكونات الذائبـه يتم إحتجازها على سطح حبيبات التربه بصفة دائمة بينما البعض الأخر تتـأثر حركته لصفة مؤقته .

والعمليتين الكيميائيتين المسئوليتين عـن مسـك الملوثـات الذائبـه همـا الإدمصاص والترسيب . فالإدمصاص ينتج من تفـاعل المـواد الذائبـه مـن الملوثات مع سطوح معادن الطين والدبال بينما الترسيب هو تكوين ناتج غـير ذائب من المكونات الذائبه الموجوده في المحلول .

يتم مسك والحد من حركة مكونات الملوثات الذائبه أساسا مـن خـلال عمليتى الإدمصاص والترسيب .

ويعتبر التبادل الأيونى نوع من أنواع الإدمصاص ويوجد ما يسمى بالتبادل الأنيونى بين الأنيونات سالبة الشحنة والتبادل الكاتيونى بين الكاتيونات موجبـة الشحنه . ففى الظروف الحمضية (درجة الحموضه -pH أقل مـن 5) بعـض الأتربه يكون لها القدرة على مسك كميات صغيرة من الأنيونات مثل النـترات والكبريتات والفوسفات فى صورة متبادله وتكون الأكاسيد المتأدرتـه للحديـد والألومنيوم هى المسئوله أساسا عن عملية التبادل الأيونى . وعلى الرغم مـن ذلك فإن عملية التبادل الأنيونى تكون ذات أهمية ضعيفة فـى نظـام إضافـة الملوثات إلى التربه حيث نجد أن الأنيون الوحيد الذى يتم مسكه فى التربه هـو الفوسفور ويتم بميكانيكية مختلفة عن التبادل الأنيونى .

وتفاعلات التبادل الأنيونى السائده فى معظم الأتربـه هـى عبـاره عـن

تفاعلات تبادل كاتيونى وهذه يتم التعبير عنها بالسعة التبادليه الكاتيونيه . فالتبادل الكاتيونى هو داله لشدة التجاذب النسبى من الأيونات والجزء الغروى من التربه وبين التركيب النسبى للكاتيونات المتبادله الموجوده فى المحلول الأرضى.

أغلب تفاعلات التبادل الأيونى فى معظم الأراضى هى تفاعلات كاتيونيه .

والسلسله التاليه توضح شدة التجاذب بين الأيونات المختلفة والجزء الغروى من التربه فى ترتيب متناقص .

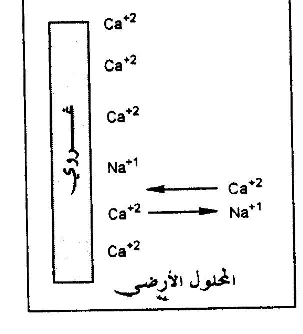
$$Al^{+3} > H^{+} > Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^{+} > NH^{+}_{4} > Na^{+}$$

ولتوضيح ذلك نفترض وجود نظام مغلق يتكون من طور غروى صلب وطور سائل (شكل 2-18) ونفترض فى هذا النظام وجود كميات متكافئه من الكالسيوم والصوديوم موزعه بين هذين الطورين . فى أى وقت يحدث أن بعض الكاتيونات تتحرر من الطور الصلب وتذهب إلى الطور السائل والبعض الآخر يحل محلهم من الطور السائل على الطور الصلب وفى هذه الحاله يقال أن النظام فى حالة توازن ديناميكى عندما يحدث تبادل عشوائى بين الطورين بدون أن يحدث أى تغيير فى نسب الكاتيونات الموجوده فى كلا من الطورين . ونتيجة لقوة الجذب بين الكالسيوم والسطح الغروى فإن الكالسيوم سوف يسود على مواقع التبادل عند الإتزان .

سوف نفترض أن المزيد من أيونات الصوديوم قد دخلت النظام ونتيجة

لزيادة تركيز الصوديوم عن الكالسيوم فى النظام يحدث توزيع عشوائى للكاتيونات بين النظامين ويسود الصوديوم على مواقع التبادل فى الجزء الصلب ويحل محل الكالسيوم على الرغم من أنجذاب الكالسيوم إلى مواقع الشحنت فى

الجزء الصلب . وعلى ذلك فعند الأتزان فإن الصوديوم سوف يسود على مواقع التبادل فى الجزء الصلب . ولذلك ففى نظم معالجة مياه الصرف الصحى نجـد أن إدمصاص ومسك الكاتيونات الذائبه على التربه يتوقف أساسا على تركـيز الكاتيونات فى المحلول الذى يدخل التربه .



(شكل 18-2a) : شدة التجاذب بين غرويات التربه وكاتيون ما يؤثر على عملية التبـادل الكاتيونى فالكالسيوم ينجـذب بشـدة إلـى سطوح الغرويات ولذلك نلاحظ سيادته علـى مواقع التبادل .

Na^{+1}
Ca^{+2}
Na^{+1}
Na^{+1}
Na^{+1}
Na^{+1}
Ca^{+2}
Na^{+1}
Na^{+1}
غروي
المحلول الأرضي

شكل (18-2b) : زيادة التركـيز يمكـن أن يغير من تأثير قوة التجاذب بين الكاتيونـات والسطح الغروى فنجـد أن زيـادة تركـيز الصوديوم أدى إلى سيادة هذا الأيون علـى مواقع التبادل فى الجزء الغروى .

والتفاعل الذى تم فيه إحلال الصوديوم محل الكاتيونات الأخـرى يعتـبر تفاعلا هاما للغايه حيث نجد أن سيادة أيون الصوديوم على مواقع التبادل سوف يؤثر سلبا على بناء وتحبب التربه مسببا تفرق حبيبات التربه وهـذا بالتـالى سوف يقلل من الفراغات الكبيرة وبالتالى يقلل من نفاذية التربه .

وتفاعلات التبادل الخاصة بأيون الأمونيوم (NH_4^+) تعتبر ايضا هامه حيـث أن هذا التفاعل يؤدى إلى إدمصاص هذا الكاتيون على سطوح غرويات التربـه مؤقتا وبذلك يتوافر الوقت للعمليات البيولوجيه التى تعمل على تحويل الأمونيوم إلى نترات (NO_3^-) والذى يعتبر أيون متحرك .

فى نظم معالجة مياه الصرف الصحى فإن إدمصاص الكاتيونات الذائبه على غرويات التربه يتوقف أساسا على تركيز هذه الكاتيونات فى المحلول المضاف إلى التربه حيث أن زيادة التركيز تعمل سيادة الكاتيون ذو التركيز العالى على مواقع التبادل بغض النظر عن شدة انجذاب هذا الكاتيون .

وعند هذه المرحلة يجب التنويه والتركيز على أن الكاتيونات المتبادله هى كاتيونات يحل محلها كاتيونات أخرى بمعنى أنه عند إزالة أيون ما مثل الصوديوم أو الأمونيوم أو أى كاتيون آخر من ماء الصرف الصحى بفعل التبادل الكاتيونى فإنه وبالضروره سوف يحل محل الأيونات المزاله أيونات اخرى موجوده على سطوح غرويات التربه أى أن الكاتيونات الموجوده على معقد التبادل سوف تذهب إلى المحلول وبكميات متكافئه أى أن تركيز الأملاح الكليه الذائبه فى المحلول لن يتغير معنويا .

تختلف الأراضى فى مقدرتها على مسك الكاتيونات والأنيونات وتثبيتها

وهو ما يعرف بالإدمصاص النوعى specific adorptions فالإدمصاص النوعى يحدث بين الأيونات الموجوده فى المحلول ، الأيونات الموجوده على سطوح الغرويات . فمثلا أيونات الأورثو فوسفات ($H_2PO_4^-$ HPO_4^{-2}) تتفاعل مع الحديد والألومنيوم الموجود على سطوح معادن الطين ويصبح مع الوقت مثبتا أى ممسوك على هذه السطوح بقوة كبيرة .

الإدمصاص النوعى يحدث فى الأراضى عندما يتم مسك الأيونات على سطوح غرويات الطين بقوة كبيرة تمنع تبادلها مع الأيونات الموجوده فى المحلول . فالعناصر الثقيله مثل الزنك والنحاس والنيكل والكادميوم والرصاص يتم مسكهم على غرويات التربه فى صورة غير متبادله .

العديد من كاتيونات العناصر الثقيله مثل الزنك والنحاس والكادميوم والنيكل

والزئبق والرصاص والكروم توجد فى مــاء الصــرف الصحــى بتركــيزات منخفضة جداً ومع ذلك فهذه الكاتيونات تتفاعل مع المكونات الغرويــه للتربــه وتصبح فى صوره غير متبادله . وبالمقارنه مع مياه الحمأة نجد أن تركــيزات العناصر الثقيله فى الحمأة تكون عاليه جداً ولذلك فإذالة هذه العناصر من الحمأة تتوقف بدرجة كبيره على درجة تجانس ابتلال التربه . فمبدئيا تكون الســطوح الخارجية للحبيبات هى التى فى حالة تلامس مع ماء الصرف الصحى وبمرور الوقت يحدث اتزان بين السطح الداخلى والمكونات الموجــوده علــى الســطح الخارجى .

التــرسيــب :

كثير من الأيونات تتفاعل خلال الطور السائل نفسه وينتج عن ذلك تكويــن راسب غير ذائب والنقطة التى يحدث عندها ترسيب كيميائى يتوقف على

تركيز الأيونات الداخلة فى التفاعل وثابت حاصل الإذابه Ksp . ويتم حســاب حاصل الإذابه وذلك بضرب تركيزات المواد المتفاعله (moles/l) فى المحلــول المشبع ببعضها . فمثلاً قيمة Ksp لكبريتات الكالسيوم $(Ca\ SO_4) = 2.4 \times 10^{-5}$ وهذا يعنى أنه عندما يكون حاصل ضرب تركيزات أيون الكالسيوم × تركــيز أيونات الكبريتات يزيد عن 2.4×10^{-5} فأن كبريتات الكالسيوم سوف تترسب .

تركيز الكبريتات فى ماء الصرف الصحى= $125mg/l\ (1.3 \times 10^{-3}\ moles/l)$ وتبعا لحاصل الإذابه فإن تركيز الكالسيوم فى المحلول لا يمكن أن يزيد عــن $750\ mg/l\ (1.85 \times 10^{-2}\ moles/l)$. فإذا فــرض أن البخــر أدى إلــى تركــيز المكونات فى ماء الصرف الصحى فإن ناتج ضرب Ca^{+2} , SO_4^{-2} سوف يزيــد عن قيمة Ksp وبالتالى سوف يتجه التفاعل التالى إلى جهـــة اليميــن مكونــا كبريتات كالسيوم غير ذائبه .

$$CaSO_4 \rightleftharpoons Ca^{+2} + SO_4^{-2}$$

أما تخفيف التركيزات فى مياه الصرف الصحى نتيجة سقوط الأمطـــار أو التفاعل مع غرويات التربه (تعادل أيونى أو ادمصاص نوعى) فـــهذا ســوف يؤدى إلى تخفيف التركيزات دافعا التفاعل إلى الاتجاه ناحية اليسار ومؤديا إلى ذوبان كبريتات الكالسيوم الصلبه .

كثير من الأيونات تتفاعل من خلال المحلول مكونه رواسب غير ذائبه .

محدودية التفاعلات الكيميائيه فى إزالة مكونات المخلفات :

تحتوى المخلفات على عناصر سامه وعناصر كـــبرى مثـــل النيـــتروجين الفوسفور وهذه العناصر يتم التحكم فيها جزئيا بواسطة الميكانيكيات الكيميائيه ى التربه . وسوف نستعرض هنا شرح مختصر لقدرة التربه علـــى معالجـــة الملوثات المحتمل تواجدها فى المخلفات وذلك لتقدير مدى إستيعاب التربه لـهذه الملوثات .

كثير من العناصر الصغرى السامه مثل الزنك والنيكل تكون على صـــورة كاتيونات ومسكها فى التربه يتوقف على السعه التبادليـــه الكاتيونيـــه . ولقـــد أجريت كثير من البحوث فى الآونه الأخيرة بغرض عمل جداول استرشـــاديه للحدود القصوى التى يمكن إضافتها للتربه من العنـــاصر الثقيلـــة والســـامه . وركزت البحوث على عناصر الزنك والنحاس والنيكل التى يمكـــن أن تكـــون سامه للنبات وكذلك على عنصر الكادميوم لمقدرته التجميعيه فى النبـــات إلـــى تركيزات عاليه يمكن أن تكون سامه للحيوانات التى تتغذى على النباتات .

والجدول الاسترشادى المقترح تم عمله طبقا للسميه النسبيه للعنصر ، قـوام التربه ، محتوى التربه من الماده العضويه ، السعه التبادليه الكاتيونيه للتربـــه .

وقد تم نشر هذه الجداول الأسترشاديه (جدول رقم 2-4) بواسطة هيئة حماية البيئه Environmental Protection Agency (EPA) سنة 1977 لتحديد القدرة الأستيعابيه للأراضى الزراعية .

ولقد تم وضع هذا الجدول الاسترشادى بإفتراض أن الأراضى التى ستستقبل هذه الاضافات لن يتأثر إنتاجها من ناحية الكم أو الخواص التسويقيه .

جدول (2-4): الحدود القصوى المسموح إضافاتها من العناصر الصغرى للأراضى الزراعية

	العنصر	السعه التبادليه الكاتيونيه		c mole/kg
		< 5	5 - 15	> 15
أقصى كميه يمكن إضافتها kg/ha	Pb	500	1,000	2,000
	Zn	250	500	1,000
	Cu	125	250	500
	Ni	50	100	200
	Cd	5	10	20

Dowdy et al.,1976. Sewage sludge and effluent use in Agriculture, pp. 138 – 153. In Land application of waste materials. Soil Cons. Soc. Am. Iowa P. 313.

من المعروف أن الفوسفور يتم مسكه فى التربه فيمكن إزالة تركيزات من الفوسفور تصل إلى 0.05 mg/l فى خلال فترة 20 عام بمعدل إضافه سنوى حوالى 75 kg P/arce ويمكن استخدام معدلات إضافه أعلى من الفوسفور فى حالة استخدام نظام التسرب السريع rapid in filtration أما فى حالة استخدام نظام الغمر overland flow فإن كفاءة إزالة الفوسفور تكون أقل وهذا راجع إلى أن أقصى كفاءة إزاله للفوسفور يمكن الحصول عليها تتم عندما يحدث أقصى تلامس بين حبيبات التربه ومياه الصرف الصحى ..

أما بالنسبة للنيتروجين فالميكانيكية الكيميائية التـــى تعمــل علـــى إزالـــة النيتروجين هى أن يتفاعل الأمونيوم موجب الشحنه مع معقد التربه الغــــروى وهذا يتوقف إلى حد كبير على السعه التبادليه الكاتيونيه للتربه .

فالأراضى ذات السعه التبادليه الكاتيونيه 15 c mol/kg يمكنها إدمصـــــاص حوالى $50\ kg\ NH_4/acre$ والواقع أن فعالية إدمصاص الأمونيوم علـــى معقـد التربه فى إزالة النيتروجين من مياه الصرف الصحى تكون عاليه فى المـــدى القصير أما فى المدى القليل ففعاليتها تكون ضعيفة وذلك لأن أيون الأمونيـــوم يتحول بيولوجيا إلى نترات ويغسل مع ماء الصرف .

مقدرة التربه على استيعاب النيتروجين يعتبر أحـــد العوامــل الهامـــه المحدده لنظم إضافات مياه الصـــرف الصحـــى إلـــى التربـــه وتعتـــبر الميكانيكية الكيميائية الهامه فى إزالة النيتروجين هـــى تفـاعل أيــون الأمونيوم موجب الشحنه مع معقد التربه الغروى .

وكما ذكر سابقا فإن تجمع الصوديوم على معقد التربه يمكن أن يؤدى إلـــى تدهور بناء التربه وبالتالى خفض نفاذية التربه ومعدل التسرب ولذلك فإن حدود الصوديوم فى مياه الصرف الصحى يتم التعبير عنها بنسبة الصوديوم المدمص Sodium adsorption ratio (SAR) والتى تعرف كالتالى :

$$SAR = \frac{[Na^{+}]}{\left(\frac{[Ca^{+2}]+[Mg^{+2}]}{2}\right)^{0.5}}$$

حيـــث يعـــبر [ ] عــن تركـــيز الكالســـيوم والمغنســـيوم والصوديـــوم بالملليمكافىء/لتر (meq/l) .

$$\left(\frac{mg \quad Na^{+}/\lambda}{22.9}\right) = meq \quad Na^{+}/\lambda$$

$$\left(\frac{mg \quad Ca^{+2}/\lambda}{20.04}\right) = meq \quad Ca^{+2}/\lambda$$

$$\left(\frac{mg \quad Mg^{+2}/\lambda}{12.15}\right) = meq \quad Mg^{+2}/\lambda$$

يجب أن لا تزيد نسبة الصوديوم المدمص (SAR) لمياه الصرف الصحى عن 10 عند إضافتها للتربه .

الميكانيكيات البيولوجيه تعمل على تحويرمكونات المخلفات على مراحل :

تعمل الكائنات الحيه على تحوير مكونات المخلفات من خلال تحلل المادة العضويه والتحولات غير العضويه وتكوين مواد جديدة والحقيقة أن الميكانيكية البيولوجيه تكون محصورة فى الطبقة السطحية من التربه والتى يطلق عليها أحيانا المنطقة النشطة بيولوجيا أو منطقة الجذور .

تحدث المعالجة البيولوجيه أساسا في السنتيمترات العليا من سطح التربه والتى يطلق عليها منطقة الجذور .

ومقدرة الكائنات الحيه فى التربه على تحلل المركبات العضوية يتوقف على أعداد هذه الكائنات ومدى تنوعها . فالأراضى بصفه عامه تحتوى على العديد من الكائنات الحيه مثل أنواع عديده من البكتريا والفطريات والأكتينوميثات

والبروتوزوا والديدان والحشرات بالإضافه إلى النباتات والحيوانات . ايضا المخلفات التى تضاف إلى التربه تحتوى على أنواع من الكائنات الحيه قد لا تكون موجوده أصلا فى التربه والنتيجة زيادة تنوع الكائنات الحيه وبالتالى زيادة مقدرة التربه على تحلل أنواع عديده من المواد العضويه .

تنوع الكائنات الحيه فى مياه الصرف الصحى يزيد من مقدرة التربه على تحلل العديد من المواد العضويه .

وتحلل المواد العضويه المضافه إلى التربه يمكن تصورها على أنها تتم على ثلاثة مراحل كما هو موضح بالشكل رقم (2-19) وهى عموما نفس المراحل التى تتم فى مشروعات المعالجه الحيويه للمخلفات ففى المرحله الأولى تعمل ميكروبات التربه على مهاجمة وتكسير الماده العضويه سهلة التحلل أولا مثل السكريات والنشا والسليلوز وتستهلك أكسجين وتطلق ثانى أكسيد الكربون والماء وتتم قياس كمية الأكسجين المستهلكه فى هذه المرحله بما يعرق بإسم 5-day biochemical oxygen demand (BOD_5) فى نفس الوقت تزيد أعداد الكائنات الحيه الدقيقة زيادة كبيرة ومفاجئه ويصبح النشاط الميكروبى فى التربه عند أقصى قيمه له .

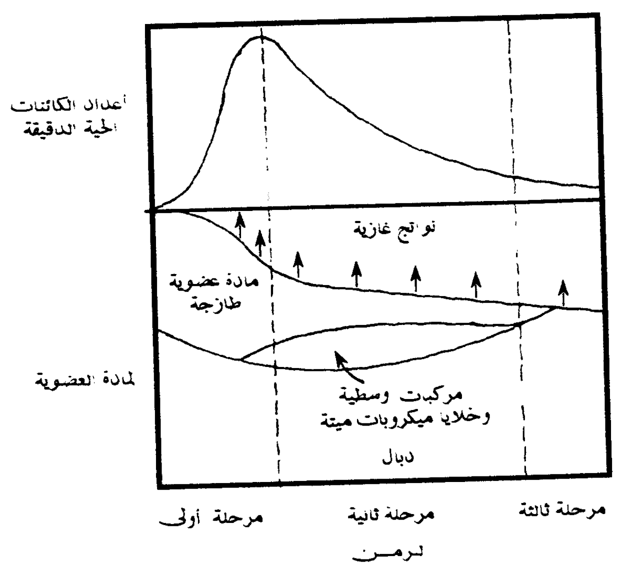
يتم قياس كمية الأكسجين المستهلكه بواسطة الميكروبات فى عملية تكسير المواد العضويه سهلة التحلل بواسطة 5 day biochemical oxygen demand .

فى المرحله الثانيه وعند انتهاء تحلل المواد العضويه سهلة التحلل تبدأ أعداد الكائنات الحيه الدقيقة فى التربه فى التناقص ويموت بعض منها والمواد العضويه فى هذه المرحله تكون عباره عن أجسام الميكروبات الميته بالإضافه إلى المواد صعبة التحلل ومركبات جديدة تتم تخليقها وهذه المواد تتحلل جزئيا ويتكون ما يسمى الدبال Hunus .

فى المرحلة الثانية من المعالجة البيولوجيه فإن أجســـام الميكروبـــات الميته والمواد العضوية المقاومه للتحلل والمركبات التى تم تخليقها يتم تحللها جزئيا ويتكون خليط يطلق عليه الدبال .

فى المرحلة الثالثة تتناقص اعداد الميكروبات بشدة حتى يصل إلى نقطـــة البداية وهذا التناقص الشديد يعتبر دلاله على المرحله الأخيرة التـــى خلالـــها يتحلل الدبال ببطء بواسطة ميكروبات متخصصة وفى النظم الطبيعيـــة التـــى تستقبل إضافات متتالية ودوريه من المواد العضويه قد يحـــدث تداخـــل بيـــن المراحل الثلاثة لكل إضافه مما ينتج عنه حدوث كل هذه المراحل فى آن واحد.

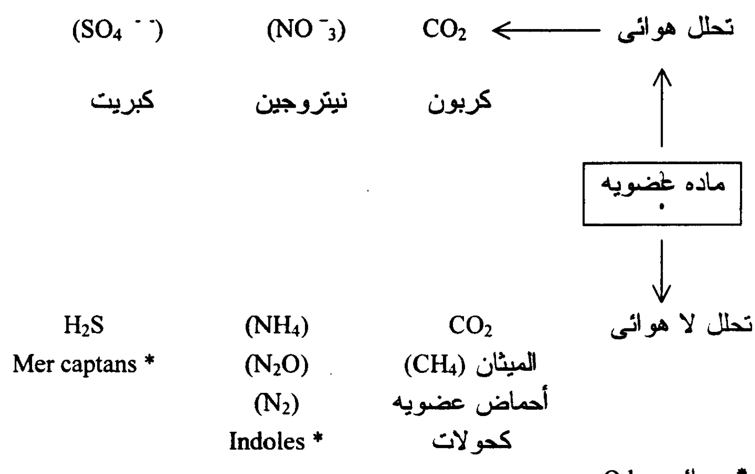
فى المرحله الأخيرة من المعالجة البيولوجيه يتحلـــل الدبـــال بواســـطة ميكروبات متخصصه .



شكل رقم (2-19) المراحل المختلفة لتحلل المواد العضوية المضافه إلى التربه

ويتوقف معدل تحلل المواد العضوية وطبيعة النواتج الوسطية والنهائية جزئيا على تركيب المواد العضوية المضافة . أيضا تؤثر عوامل التربه على هذا المعدل فوجود أو عدم وجود الأكسجين يحدد إلى مدى كبير معدل التحلل وكذلك نوع نواتج التحلل . فمن المعروف أن حالة الأكسجين فى التربه تعتبر داله لمسامية التربه وأيضا خواص التربه الأخرى التى تؤثر على نفاذية ومعدل التسرب . إمكانية وجود الأكسجين هو الذى يحدد الظروف الهوائية أو اللاهوائية للتربه وفى كلتا الحالتين فإن التحلل سوف يأخذ مجراه.ولكن الناتج النهائى سوف يختلف كلية (شكل رقم 2-20) .

الظروف الهوائية أو اللاهوائية للتربه هى التى تحدد معدل التفاعل وكذلك نواتج تحلل المواد العضويه المضافه .



* روائح Odor

شكل رقم (20/2) : نواتج التحلل الهوائى واللاهوائى للماده العضويه

وفى الظروف الهوائية يتم استخدام حوالى 60% من الكربون العضوى

بواسطة الكائنات الحية الدقيقة وينطلق كثانى أكسيد الكربون فى المرحلة الابتدائية (الأولى) . والباقى يتم تخزينه فى خلايا الميكروبات حيث ينطلق منه جزء كثانى أكسيد الكربون عندما يتناقص أعداد الميكروبات . أيضا فى التحلل الغير هوائى يتكون ثانى أكسيد الكربون والميثان (CH_4) والباقى ويقدر بحوالى 70% يظل فى النواتج الوسيطه التى هى عباره عن كحولات وأحماض عضويه.

وخلال تحلل المادة العضويه يتم تحول النيتروجين والفوسفور والكبريت من الصورة العضويه إلى الصورة غير العضويه وهذه العملية يطلق عليها معدنه المواد العضويه . ويتوقف شكل ومصير هذه العناصر فى التربه على حالة الأكسجين فيها فمثلا النيتروجين المعدنى يظهر أولا كأمونيوم (NH_4^+) وفى الظروف الهوائية يتحول الأمونيوم بواسطة ميكروبات التربه إلى النترات (أنيون عالى الحركة يمكن غسيله بسهولة وفقده إلى الماء الجوفى) . أما فى الظروف اللاهوائية فلا تتكون النترات وإنما يحدث تجمع للأمونيوم ونتيجة لتعاقب الظروف اللاهوائية والهوائية قد تتكون النترات التى تتحول بعد ذلك إلى اكسيد نيتروز (N_2O) أو غاز النيتروجين (N_2) وهذه التحولات الأخيرة يطلق عليها عملية عكس التأدرت denitrification . وبنفس الطريقة يتحول الكبريتات إلى غاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S) تحت الظروف اللاهوائية .

وكثير من العناصر التى تتم معدنتها خلال تحلل المواد العضوية يتم استخدامها بواسطة النبات وتحويلها إلى مواد عضوية جديدة فلفظ تخليق assimilation يعنى تحويل الصور غير العضويه إلى صور عضويه فى أنسجة الكائنات الحية ولذلك فإن الغطاء النباتى يعتبر فى الواقع وسيله للتخلص من هذه العناصر .

حدود الميكانيكية البيولوجية

تستقبل الأراضى إضافات مستمرة من المادة العضوية على صورة بقايا نباتات وهذه الإضافات يتم أكسدها باستمرار بواسطة الكائنات الحية . وبزيادة المادة العضوية المضافه يزيد انطلاق الأكسجين حتى يصل إلى أقصى قيمة له وأى زيادة فى إضافات المادة العضويه بعد هذه النقطة سوف يؤدى إلى تراكم المواد العضويه . وعلى الرغم من أرتفاع معدل أكسدة الكربون العضوى فى الأراضى فإن الحدود القصوى لإضافات مياه الصرف الصحى والحمأة غير معروفه . ولقد أظهرت الدراسات أن الأراضى يمكنها أن تحلل مواد عضوية وبمعدل يزيد عن 2250 kg/ha ويتضح من هذه النتائج أن العوامل الأرضية مثل نفاذية التربه والمحتوى النيتروجينى سوف يكونان هما العاملان المحددان لمعدل إضافة المخلفات حتى قبل أن تصل التربه إلى أقصى قيمة إستيعابيه لها.

نفاذية التربه والمحتوى النيتروجينى يعتبران من أهم العوامل المحددة لمعدلات إضافات المخلفات .

مقدرة الكائنات الحية على تحوير إضافات النيتروجين تعتبر غايه فى الأهمية خاصة تحول النترات إلى غاز النيتروجين تحت الظروف اللاهوائية . وحتى الآن لا يوجد أى نظام يستقبل الحمأة ويمكنه التخلص من أكثر من 30% من النيتروجين الكلى . والواضح الآن أن أفضل الطرق للتحكم فى النيتروجين هو إزالة النيتروجين بواسطة النباتات والأعتماد على التحكم فى النيتروجين بواسطة النباتات سوف يؤدى إلى خفض معدل إضافة النيتروجين إلى حوالى 112-560 kg/ha-yr تبعا لنوع المحصول .

لا يوجد أى نظام من نظم إضافة المخلفات إلى التربه قادر على التخلص من أكثر من 30% من النيتروجين المضاف وذلك بتحويل النترات إلى صورة غازية ويعتبر إمتصاص النبات هو الوسيلة الوحيده للتخلص من النيتروجين .

النيتروجين هو العامل المحدد فى نظم إضافة المخلفات إلى الأراضى

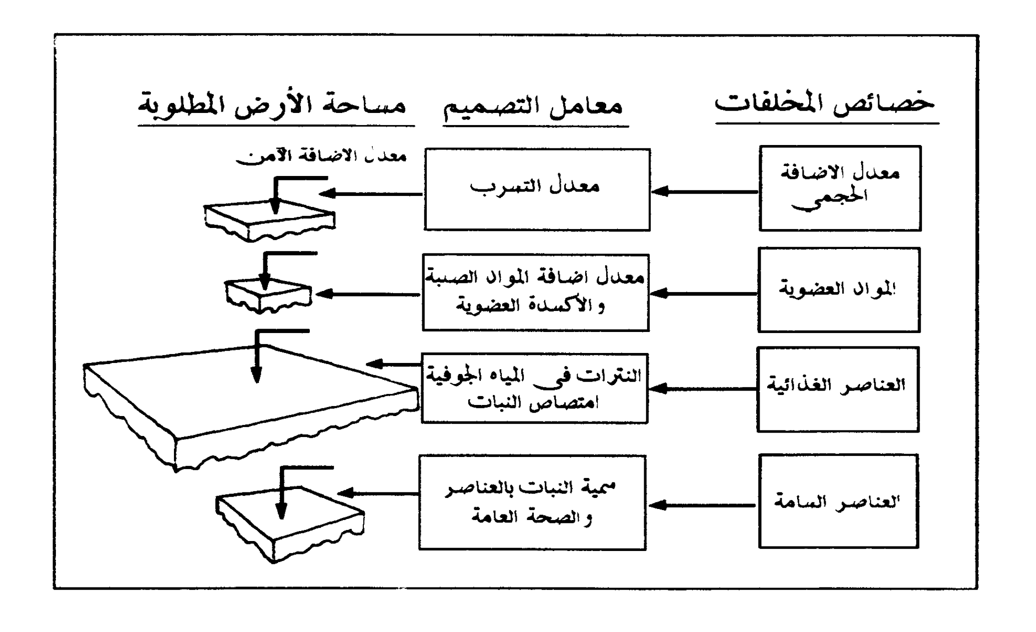
جدول رقم (2-5) : حدود إضافة المخلفات إلى التربه

المكونـــــات	الحـــــدود
مواد عضويه	
BOD_5	4480 kg/ha [a] لكل فترة إضافه
المواد الصلبة العالقه (SS) Suspended Solids	672 kg/ha [a] لكل فترة إضافه
العناصر الغذائية	
P	180 - 360 kg/ha-yr
النيتروجين الكلى	112 - 560 kg/ha-yr
العناصر السامه	
زنك ــ نحاس ــ نيكل ــ كادميوم	يتوقف على السعة التبادلية الكاتيونيه
صوديوم	SAR < 10

(a) نفترض أن فترة الإضافه يتبعها فترة راحة حوالى ٣ ــ ٥ أيام .

وتعتبر الحدود السابق ذكرها مفيده لمعرفة مدى إمكانية تطبيقها فى المواقع المختلفة ودراسة البدائل المتاحه .

والشكل رقم (2-21) يوضح رسم تخطيطى للعلاقة بيــن مكونـــات المخلفـــات وخواص التربه والعوامل المحددة ومساحة الموقع المطلوبـــه طبقـــا للعوامـــل المحددة ويلاحظ من الرسم أن النيتروجين هو العامل المحدد الأساسى فى نظـم إضافة المخلفات إلى التربه فنجد أن المساحة المطلوبه بالنسبة لعامل النيتروجين لكى تكون التربه فى حد الأمان تعادل 15 ضعف المساحة المطلوبـــه بالنســـبة للعناصر السامه .



شكل رقم (2-21) : مثال يوضح العلاقة بين مكونات المخلفات ونظم إضافة المخلفات إلـــى التربه والمساحة المطلوبه .

حساب معدل إضافة الحمأه للأراضى الزراعية

Calculating Application Rates of Sewage Sludge on Cropland

سوف نعطى هنا مثال لتوضيح كيفية حساب معدل إضافة الحمأه للأراضى الزراعية تبعا للقواعد التى تم شرحها سابقا وفى هذا المثال يتم الحساب على خمس خطوات هى :

١. مكونات الحمأة ومعلومات عن التربه .
٢. إحتياجات المحصول من العناصر الغذائية .
٣. تقدير معدل الإضافه السنوى للحمأه .
٤. تقدير معدل إضافات السماد الفوسفورى والنيتروجينى .
٥. تقدير الكمية الكلية المسموح بإضافتها من الحمأه وعدد السنوات .

وقبل أن نبدأ فى شرح الطريقة لابد من توافر المعلومات التالية :

١.بيانات عن مكونات الحمأه (Sewage sludge)

أ.النيتروجين الكلى (N)
ب.الأمونيوم ($NH_4 - N$)
ج.النترات ($NO_3 - N$)
د.الفوسفور (P)
هـ.البوتاسيوم (K)
و.الرصاص (Pb)
ث.الزنك (Zn)
ح.النحاس (Cu)
ت.النيكل (Ni)
ك.الكادميوم (Cd)

٢.بيانات عن التربه والمحصول

أ.الفوسفور الميسر والبوتاسيوم الميسر .
ب.توصيات الأسمدة بالنسبة للنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم .
ج. درجة حموضة التربه (pH).
د.السعة التبادلية الكاتيونية للتربه .

القسم الأول : مكونات الحمأه ومعلومات عن التربه

مكونات الحمأه

النيتروجين الكلى	5 %
الأمونيوم	2 %
النترات	0 %
الفوسفور	2 %
البوتاسيوم	0.1 %
Zn	3000 ppm
Pb	500 ppm
Cu	1000 ppm
Ni	50 ppm
Cd	20 ppm

بيانات التربه

القوام	Loam
درجة الحموضه(pH)	6.5
الفوسفور الميسر	28 kg/ha
البوتاسيوم المتبادل	190 kg/ha
CEC	12 cmol/kg

القسم الثانى : إحتياجات المحصول من المغذيات

نوع النبات والمحصول لكل هكتار

ذره 10,000 kg/ha

العناصر الكبرى التى يحتاجها النبات لكل هكتار

N = 190.4 kg/ha

P_2O5 = 67.2 kg/ha

K_2O = 78.4 kg/ha

القسم الثالث : تقدير معدل الإضافه السنوى من الحمأه

١. حساب كميات صور النيتروجين المختلفة

أ . النسبة المئوية للنيتروجين العضوى

% النيتروجين العضوى = N % الكلى - % الأمونيوم - % النترات

% N العضوى = $5 - 2 - 0 = 3\,\%$

ب . النيتروجين العضوى بالكجم/طن

النيتروجين العضوى= % النيتروجين العضوى × 1.82=

$= 1.82 \times 3 = 5.46$ kg N/Ton

ج. الأمونيوم بالكجم/طن

الأمونيوم بالكجم/طن = % أمونيوم × 9 =

$= 2 \times 9 =$ 18 كجم/طن

د. النترات بالكجم/طن

النترات بالكجم/طن = % للنترات × 9

$= 0 \times 0 =$ 0 كجم/طن

٢.حساب النيتروجين الصالح (الميسر) للنبات فى الحمأه

أ.فى حالة خلط الحمأه مع التربه

النيتروجين الصالح بالكم/طن = النيتروجين العضوى + الأمونيوم + النترات

$= 5.46 + 18 + 0 = 23.5$ كجم/طن

ب.الإضافه السطحية للحمأه (يفترض أن نصف الأمونيوم تفقد بالتطاير)

النيتروجين الصالح بالكجم/طن = $5.45 + \frac{18}{2} + 0 = 14.45$كجم/طن

٣. تعديل توصيات الأسمدة النيتروجينيه بالأخذ فـــى الأعتبـــار النيـــتروجين المتبقىResidual N الناتج من الإضافه السابقه للحمأه لمدة ٣ سنوات .

0.46 × % organic N × tons sludge/acre = lbs residual N/acre
0.46 × % organic N × tons sludge/acre = lbs residual N/acre × 1.12 = kg residual N/ha

أ.الحمأه المضافه سابقا لمدة 1 عام

0.46 × 0 × 0 × 1.12 = 0 kg residual N/ha

ب.الحمأه المضافه سابقا لمدة 2 عام

0.46 × 0 × 0 × 1 12 = 0 kg residual N/ha

ج. الحمأه المضافه سابقا لمدة 3 سنوات

0.46 × 0 × 0 × 1.12 = 0 kg residual N/ha

د. النيتروجين المتبقى الكلى Total residual N

الخطوة أ + الخطوة ب + الخطوة جـــ

0 + 0 + 0 = 0 كجم نيتروجين هكتار

هـــ. تعديل الأحتياجات النيتروجينية

إحتياجات النبات كجم N /هكتار = إحتياجات النبات N/هكتار – النيتروجين المتبقى

كجم N/هكتار = 190.4 – 0 = 190.4

٤.حساب معدل إضافة الحمأه الســـنوى تبعـــا لإحتياجـــات المحصـــول مـــن النيتروجين

= توصيات السماد المعدله نتيجة إضافة الحمأه سابقا / النيتروجين الميسر للنبات فى الحمأه

أ . فى حالة الإضافه بالخلط Incorporation

$\frac{190.4}{23.5}$ = 8 1 Ton sludge/ha

ب . فى حالة الإضافه على السطح

$\frac{190.4}{14.45}$ = 13.2 Ton sludge/ha

٥.حساب معدل الإضافه السنوى للحمأه تبعا لحدود الكادميوم

أ . حساب محتوى الحمأه من الكادميوم لكل طن

ppm Cd × 0.001 = kg Cd/ ton of sludge

20 × 0.001 = 0.020 kg Cd/ton of sludge

ب. حساب كمية الحمأه الواجب إضافتها لتعطى 2 kg Cd/ha

2 kg Cd/ha ÷ kg Cd/ton = ton sludge/ha

2 kg Cd/ha ÷ 0.02 kg Cd/ton = 100 ton sludge/ha

٦. اختيار معدل الإضافه السنوى المثالى لكل هكتار

بصفة عامه يتم إختيار معدل الإضافه الأقل المحسوب من الخطوتين 5 , 4 .

أ . فى حالة خلط الحمأه بالتربه

8.1 ton sludge/ha

ب. فى حالة الإضافه السطحية

13.2 ton sludge/ha

القسم الرابع: حساب كميات الأسمدة النيتروجينيـــة والفوســفاتية الواجـــب إضافتها

١. الفوسفور

أ . P_2O_5 الموجود فى الحمأه المضافه

Tons sludge/ha × % P × 45.8 × 1.12 = kg P_2O_5/ha

8.1 × 2 × 45.8 × 1.12 = 831 kg P_2O5/ha

ب. كمية السماد الفوسفاتى الواجب إضافتها

كمية السماد الواجب إضافتها kg P_2O_5/ha =

إحتياجات المحصول من الفوسفور – كمية الفوسفور الموجود فى الحمأه المضافه

= 67.2 - 831 - 764 kg P_2O_5/ha

عندما تكون الإجابه بالسالب فهذا يعنى عدم إضافة سماد

٢. البوتاسيوم

أ. K_2O الموجود فى الحمأه المضافه

Tons sludge/ha × % K × 24 × 1.12 = kg K_2O/ha

8.1 × 0.1 × 24 × 1.12 = 21.7

ب. كمية السماد البوتاسى الواجب إضافته

السماد البوتاسى الواجب إضافته =

احتياجات المحصول من البوتاسيوم – كمية البوتاسيوم الموجوده فى الحمأه المضافه

78.4 – 21.7 = 56.7 kg K_2O/ha

<u>القسم الخامس</u> : حساب الكمية الكلية المسموح إضافتها من الحمـــأه وعدد سنوات الإضافه

١. يتم حساب كميات الحمأه الواجب إضافتها للوصول إلى الحدود القصـــوى المسموح إضافتها من العناصر الصغرى (جدول 8-4) .

الكمية القصوى المسموح إضافتها (لكل هكتار)=

[الكمية القصوى المسموح إضافتها من العنصر ÷ (تركيز العنصر فى الحمأه × 0.001)]

Pb =	[1000 ÷ (500 × 0.001)]	= 2000	ton sludge/ha
Zn =	[500 ÷ (3000 × 0.001)]	= 166	ton sludge/ha
Cu =	[250 ÷ (1000 × 0.001)]	= 250	ton sludge/ha
Ni =	[100 ÷ (50 × 0.001)]	= 2000	ton sludge/ha
Cd =	[10 ÷ (20 × 0.001)]	= 500	ton sludge/ha

هنا أقصى كمية مسموح إضافتها هى 166 ton sludge/ha

٢. حساب أقصى عدد سنوات الإضافه

عدد السنوات = <u>أقصى كمية حمأه مسموح إضافتها للهكتار</u>
كمية الحمأه المضافه سنويا

أ. فى حالة الإضافه بالخلط incorportion

عدد السنوات = $\frac{166}{8.1}$ = 20 سنة

ب. فى حالة الإضافه السطحية

عدد السنوات = $\frac{166}{13.2}$ = 12 سنة



المراجـــع

Alloway, B. J. (1995). Heavy metals in soils. Blackie Acadamic & Professional. London.

Carrol, B.A., P. Count and G. Cunliffe (1993). Composting sewage sludge. Basic principles and opportunities in the U.K. J. of the instit. Water and Environ. Mong. 7 : 2-10.

Chaney RL. (1989). Toxic element accumulation in soils and crops : protecting soil fertility and agricultural food chains. In : Bar-Tosef, Barrow, Goldshmid (eds) Inorganic contamination of the vadose zone. Springer Ecol stud 74 : 140-158.

Day A. D. and T.C. Tucker (1972). Effects of treatment plant effluent on soil properties. J. Water Pollute control Fed 44 : 372-375.

Eliott, L. F., F.F. Stevenson (eds) (1977). Soils for management of organic wastes and waste waters. Soil Sci. Soc. Am, Madison, Wis.

EPA (ed) (1981). Process design manual for land treatment of municipal wastewater. US Environ. Protect, Washington, DC, EPA 62511-77-008.

Fuller, W.H., and A.W. Warrick. (1985). Soils in waste treatment and utilization, Vol 1 and 2. CRC, Boca Raton.

Jones, K. C. (1991). Contamination trends in soils and crops. Environ. Pollut. 69 : 311 – 325.

Locher, R.C. (1977). Land as a waste management alternative. Science Publisher, Ann Arbor, London.

Matilainen. T., M. Verta, M. Niemi and A. Uusi-rawa (1991). Specific rates of net methyl mercury production in lake sediments. Water Air Soil Pollution 56 : 595 - 605.

Mc Bride, M.B. (1995). Toxic metal accumulation from agricultural use of sewage sludge : Are USEPA regulations protective? J. Environ Quality 24 . 5-18.

Miller. G.T. Living in the environment, principles, connections and solutions-8th ed wadsworth publ. Co., Belmont, CA.

Page. A.L; T. J. Logan and J.A. Ryan, (eds). (1987). Land application of sludge, food chain implications. Lewis, Chelsea, pp 67-99.

Page. A. L. (1993). Fate and effects of trace elements in sewage sludge when applied to Agricultural Lands : A Literature review. U. S EPA Report No. EPA – 670/2 National Technical Infor Service Spring field, VA.

Pettygrove G.S., and T. Asano (1985). Irrigation with reclaimed municipal wastewater-a guidance manual. Lewis, Chelsea.

Smith, J. H. and J. R. Peterson (1982). Recycling of N through land application of Agricultural, food processing and municipal wastes ASA. Madison. Wis.. pp. 791 – 831.

Stevenson. F. J. (1985). Cycles of soil . John Wiley & Sons. New York.

Wheatley. A.D. and L. Cassell (1985). Effleuent treatment by anaerobic biofiltration. J. Instit. Water Pollution control 84 (1).

WHO Scientific Group (ed) (1989). Health guidelines for the use of waste water in agriculture : report. WHO Geneva Tech Rep. Ser. 778 : 74 pp.